

Kehittämistutkimus:
Tieto- ja viestintätekniikkaa kemian opetukseen

Johannes Pernaa

Kemian opettajankoulutusyksikkö
Kemian laitos
Helsingin yliopisto

AKATEEMINEN VÄITÖSKIRJA

*Esitetään Helsingin yliopiston matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan
suostumuksella julkisesti tarkastettavaksi kemian laitoksen auditoriossa A110
marraskuun 12. päivänä 2011 klo 10.*

Helsinki 2011

Kemian opettajankoulutusyksikön väitöskirjat
ISSN 1799-1498
ISBN 978-952-10-7290-1 (nid.)
ISBN 978-952-10-7291-8 (PDF), <http://ethesis.helsinki.fi/>
Yliopistopaino Helsinki
Helsinki 2011

Ohjaaja

Professori Maija Aksela
Kemian laitos
Helsingin yliopisto

Esitarkastajat

Yliopistonlehtori, dosentti Ari Lehtonen
Kemian laitos
Turun yliopisto

Yliassistentti, FT Jouni Välisaari
Kemian laitos
Jyväskylän yliopisto

Vastaväittäjä

Professori Petri Pihko
Kemian laitos
Jyväskylän yliopisto

Kustos

Professori Markku Räsänen
Kemian laitos
Helsingin yliopisto

Tiivistelmä

Tutkimuksen pää tavoitteena oli kehittää kemian opetusta tukevaa tieto- ja viestintätekniikkakoulutusta (TVT-koulutus). Keskeisiä tutkimusta ohjaavia tavoitteita olivat kemian mielekkään oppimisen, tutkimusperustaisen opetuksen ja TVT-opetusinnovaatioiden diffuusion tukeminen, jotka muodostivat tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen. Väitöskirja rakentuu kahdeksanvaiheisesta tutkimusprojektista, joka koostuu kolmesta kehittämistutkimuksesta. Tutkimuksen kolmea kehittämistutkimusta tarkasteltiin erillisinä tapaustutkimuksina, joiden tapaukset muodostettiin erilaisten kehittäjäryhmien perusteella: i) yksi tutkija toimi vastuukehittäjänä, ja opettajat sisällytettiin tutkimusprosessiin, ii) tutkijaryhmä vastasi kehittämisestä, ja opiskelijat sisällytettiin tutkimusprosessiin ja iii) opiskelijaryhmät toimivat kehittäjinä, tutkimus toteutettiin yhteisöllisesti ja tutkija koordinoi kehittämisprosessin.

Tutkimuksissa yhdistyvät laadulliset ja määrälliset tutkimusmenetelmät, joiden avulla koulutuksen kehittämistä pyrittiin tarkastelemaan kokonaisvaltaisesti. Tarkasteluun sisällytettiin kaikki kehittämistutkimuksen kolme ydinosaa- aluetta: ongelma-analyysi, kehittämistuotos ja kehittämisprosessi. Tutkimusta ohjasivat ydinosaa- alueiden mukaan muodostetut päätutkimuskysymykset: 1) kehittämistuotos: millaisia ominaisuuksia on mielekkästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevalla tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvalla oppimisympäristöllä?, 2) ongelma-analyysi: millaisia uusia mahdollisuuksia kehittyvät oppimisympäristöt tuovat mielekkään kemianoppimisen tukemiselle? ja 3) kehittämisprosessi: millaisia mahdollisuuksia ja haasteita yhteisöllisyys asettaa tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvien oppimisympäristöjen kehittämiselle? Päättutkimuskysymyksiin saatiin vastauksia analysoimalla kolmen tapaustutkimuksen kysely- ja havainnointiaineistot, kuusi kehitettyä oppimisympäristöä ja kymmenen oppimisympäristön kehittämiskuvaukset. Tutkimuksen kehittämisprosesseihin osallistui yhteensä 139 kemian aineenopettajaa ja opiskelijaa. Aineistot analysoitiin pääosin laadullisen sisällönanalyysin metodein.

Tutkimuksen ensimmäisenä päätuloksena saatiin uutta tietoa mielekkästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevan TVT-oppimisympäristön ominaisuuksista, mikä tulevaisuudessa auttaa TVT-koulutusten kehittämiskohteiden suunnittelussa. Kun kehitettyjä oppimisympäristöjä tutkittiin kemian opetuksen kontekstissa, todettiin, että mielekkästä kemian oppimista tukeva kemian TVT-oppimisympäristö on opettajan työtä helpottava ja oppilaita motivoiva turvallinen oppimisympäristö. Lisäksi sen tulisi mahdollistaa samanaikaisesti usean pedagogisen tavoitteen toteutuminen ja korkeamman tason kognitiivisten prosessien aktivoiminen. TVT-innovaation diffuusiota tukeva oppimisympäristö taas on suomalaisen koulukulttuuriin soveltuva, avoimeen lähdekoodiin pohjautuva, kemian sisällöiltään laadukas ja teknisesti helppokäyttöinen oppimisympäristö.

Toisena päätuloksena saatiin lisää tietoa TVT-pohjaisten oppimisympäristöjen mahdollisuuksista kemian mielekkään oppimisen tukemisessa. Tämä auttaa tulevaisuudessa järjestettävien TVT-koulutusten tavoitteiden määrittelyä. Kehittämistuotoksien ja niiden arviointien analysoimisen pohjalta todettiin, että TVT mahdollistaa kaikkien oppimisympäristöjä määrittelevien osatekijöiden (didaktiset, fyysiset, tekniset ja sosiaaliset) huomioon ottamisen. Tutkimuksessa korostuivat erityisesti TVT:n merkitys opiskelijoiden motivaation ja korkeamman tason kognitiivisten prosessien tukemisessa sekä TVT:n mahdollistamat monipuoliset kemian visualisointiresurssit. Lisäksi todettiin, että TVT:aa opetettaessa tutkimusperustainen opetustapa tukee hyvin koulutettavan innovaation diffuusiota yksilötasolla.

Kolmantena päätuloksena tutkimus toi esille uutta tietoa yhteisöllisyyden merkityksestä kehittämistutkimuksessa, mikä tulevaisuudessa ohjaa TVT-koulutusten kehittämisprosessien suunnittelua. Kehittämiskuvausten analysoimisen pohjalta todettiin, että yhteisöllisyys on tieteellisesti luotettavan kehittämistutkimuksen toteuttamisessa tärkeää. Se mahdollistaa kokonaisvaltaisen tarveanalyysin ja monitahoisen kehittämisen, mikä parantaa tutkimuksen luotettavuutta ja pätevyyttä. Samalla se asettaa luotettavuushaasteita, joista esimerkki on dokumentoinnin ja koordinoinnin monimutkaistuminen.

Lisäksi tutkimuksessa kehitettiin uudentyyppinen kehittämistutkimuksen toteuttamismenetelmä, jonka tarkoituksena on tukea monimutkaisten yhteisöllisten kehittämisprojektien suorittamista. Tutkimuksen luotettavuuden ja pätevyyden vahvistamiseksi siinä hyödynnetään malliteoriaa. Malliteoria mahdollistaa kehittämisen aikasidonnaisen dokumentoinnin ja kehittämis päätösten visualisoinnin, jolloin koko prosessi selkenee. Tämä parantaa tutkimuksen luotettavuutta. Tutkimuksen pätevyyttä vahvistetaan siten, että tarpeet selvitetään mallien avulla. Näin pystytään rakentamaan oppimisympäristöjä, jotka tarkasti vastaavat kehittämistavoitteita. Kehitetty menetelmä soveltuu opetuksen kehittämiseen perusopetuksesta korkeakouluihin. Sen avulla pystytään ottamaan huomioon erilaisten sidosryhmien, ihmisten, prosessien, teknologian ja substanss tiedon tarpeita ja niiden välisiä rajapintoja ja relaatioita. Kehitetyllä menetelmällä on myös kaupallisia mahdollisuuksia. Sitä hyödynnetään tutkimusperustaisten oppimisympäristöjen kehittämisessä kansallisilla ja kansainvälisillä markkinoilla.

Avainsanat: innovaation diffuusio, kehittämistutkimus, kemian opetus, kemian opetuksen tutkimus, kemian opettajankoulutus, malli, mielekäs kemian oppiminen, oppimisympäristö, tieto- ja viestintätekniikka, tutkimusperustainen kemian opetus, visualisointi

Abstract

The main aim of the present study was to develop information and communication technology (ICT) based chemistry education. The goals for the study were to support meaningful chemistry learning, research-based teaching and diffusion of ICT innovations. These goals were used as guidelines that form the theoretical framework for this study. This Doctoral Dissertation is based on eight-stage research project that included three design researches. These three design researches were scrutinized as separate case studies in which the different cases were formed according to different design teams: i) one researcher was in charge of the design and teachers were involved in the research process, ii) a research group was in charge of the design and students were involved in the research process, and iii) the design was done by student teams, the research was done collaboratively, and the design process was coordinated by a researcher.

The research projects were conducted using mixed method approach, which enabled a comprehensive view on education design. In addition, the three central areas of design research: problem analysis, design solution and design process were included in the research, which was guided by the main research questions formed according to these central areas: 1) design solution: what kind of elements are included in ICT-based learning environments that support meaningful chemistry learning and diffusion of innovation, 2) problem analysis: what kind of new possibilities the designed learning environments offer for the support of meaningful chemistry learning, and 3) design process: what kind of opportunities and challenges does collaboration bring to the design of ICT-based learning environments? The main research questions were answered according to the analysis of the survey and observation data, six designed learning environments and ten design narratives from the three case studies. Altogether 139 chemistry teachers and teacher students were involved in the design processes. The data was mainly analysed by methods of qualitative content analysis.

The first main result from the study give new information on the meaningful chemistry learning and the elements of ICT-based learning environment that support the diffusion of innovation, which can help in the development of future ICT-education design. When the designed learning environment was examined in the context of chemistry education, it was evident that an ICT-based chemistry learning environment supporting the meaningful learning of chemistry motivates the students and makes the teacher's work easier. In addition, it should enable the simultaneous fulfilment of several pedagogical goals and activate higher-level cognitive processes. The learning environment supporting the diffusion of ICT innovation is suitable for Finnish school environment, based on open source code, and easy to use with quality chemistry content.

According to the second main result, new information was acquired about the possibilities of ICT-based learning environments in supporting meaningful chemistry learning. This will help in setting the goals for future ICT education. After the analysis of design solutions and their evaluations, it can be said that ICT enables the recognition of all elements that define learning environments (i.e. didactic, physical, technological and social elements). The research particularly demonstrates the significance of ICT in supporting students' motivation and higher-level cognitive processes as well as versatile visualization resources for chemistry that ICT makes possible. In addition, research-based teaching method supports well the diffusion of studied innovation on individual level.

The third main result brought out new information on the significance of collaboration in design research, which guides the design of ICT education development. According to the analysis of design narratives, it can be said that collaboration is important in the execution of scientifically reliable design research. It enables comprehensive requirement analysis and multifaceted development, which improves the reliability and validity of the research. At the same time, it sets reliability challenges by complicating documenting and coordination, for example.

In addition, a new method for design research was developed. Its aim is to support the execution of complicated collaborative design projects. To increase the reliability and validity of the research, a model theory was used. It enables time-pound documenting and visualization of design decisions that clarify the process. This improves the reliability of the research. The validity of the research is improved by requirement definition through models. This way learning environments that meet the design goals can be constructed. The designed method can be used in education development from comprehensive to higher level. It can be used to recognize the needs of different interest groups and individuals with regard to processes, technology and substance knowledge as well as interfaces and relations between them. The developed method has also commercial potential. It is used to design learning environments for national and international market.

Keywords: diffusion of innovation, design research, chemistry teaching, chemistry teaching research, chemistry teacher education, model, meaningful chemistry learning, learning environment, information and communication technology, research-based chemistry teaching, visualization

Esipuhe ja kiitokset

Talvella 2008 avautui Helsingin yliopiston kotitaloustieteiden laitoksella amanuenssin paikka, jota päätin hakea. Olin juuri valmistunut luonnontieteiden kandidaatiksi Helsingin yliopistosta ja viimeistelin samassa korkeakoulussa kemian maisteriopintoja. Varasin tapaamisajan graduohjaajaltani professori Maija Akselalta, sillä tarvitsin työhakemusta varten suosituksen. Tapaamisessa työsuunnitelmani muuttuivat, sillä prof. Aksela tarjosi töitä. Lähtiessäni tapaamisesta olin allekirjoittanut työsopimuksen, jonka mukaan aloittaisin välittömästi valmistumisen jälkeen tutkivan opettajan työt Helsingin yliopiston kemian laitoksella. Päätöstä ei tarvinnut miettiä, sillä tutkimus kiinnosti ja palkka tulisi olemaan 21 euroa korkeampi kuin amanuenssin toimesta.

Aloittelevalle tutkijalle työpaikka kemian laitoksella oli lottovoitto. Työpaikka osana tiedeyhteisöä antoi hyvät lähtökohdat tutkijaksi kasvamiseen ja väitöstyön edistymiseen. Pääsin mukaan väitöstä tukeviin tutkimusprojekteihin, sain mahdollisuuden opettaa omaa tutkimusalaan kemian opetuksen kursseilla ja tieteellisiä keskusteluja varten työn ohjaajan tai lähimmän kollegan ovelle oli matkaa vain muutama metri. Väitöstutkimuksen aikana koin tämän työyhteisöltä saamani tuen hyvin tärkeäksi voimavaraksi ja haluan osoittaa useat kiitokset tutkimustyöni tukemisesta.

Kiitän professori Maija Akselaa työni ohjauksesta, seitsemästä yhteisestä julkaisusta, mentoroinnista sekä verkostojen luomisesta. On ollut kunnia aloitella tieteellistä uraa juuri Helsingin yliopiston kemian laitoksen kemian opettajankoulutusyksikössä. Professori Jan Lundellia kiitän molekyylimallinnukseen liittyvästä mentoroinnista, yhteisestä täydennyskoulutushankkeesta ja sen pohjalta syntyneistä yhteisistä julkaisuista. Vaimoani Heidiä kiitän poikkitieteellisen reflektiomahdollisuuden tarjoamisesta myös kotioloissa. Esimerkkinä mainittakoon, että työn merkittävin oivallus, malliteorian hyödyntäminen osana kehittämistutkimusta, on syntynyt juuri näistä keskusteluista. Tutkija Veli-Matti Vesteristä kiitän tutkimusmenetelmiin liittyvästä mentoroinnista, tutkimukseni kriittisestä tarkastelusta ja siitä syntyneestä yhteisestä tutkimusartikkelista. Tutkija Jenni Västinsaloo kiitän vertaisarvioinneista ja yhteisestä julkaisusta. Esitarkastajiani yliassistentti Jouni Välisaarta ja yliopistonlehtori Ari Lehosta kiitän työtäni koskevista kehittämis ehdotuksista.

Lisäksi kiitän jokaista tutkimusryhmämme tutkijaa. Vuosien varrella käydyt keskustelut ja seminaarit ovat tukeneet merkittävästi väitöskirjatyötäni. Kiitokset myös kustokselleni professori Markku Räsäselle ja koko kemian laitokselle mielekkäästä työyhteisöstä. Kiitokset myös perheelle ja ystäville tuesta ja kannustuksesta sekä sadoille eri alojen asiantuntijoille, joiden kanssa olen käynyt tutkimustyötä tukevia keskusteluja.

Lopuksi kiitän vielä kaikkia 139 tutkimukseen osallistunutta kemian opettajaa ja opiskelijaa sekä Helsingin yliopiston tiedesäätiötä nuoren tutkijan apurahasta, joka mahdollisti vuoden mittaisen täysipainoisen keskittymisen väitöskirjatyöhön.

Helsingissä lokakuussa 2011

FL Johannes Pernaa

Sisällys

1 Johdanto.....	1
1.1 Tutkimuksen taustaa	1
1.2 Päättökimuskysymykset	3
1.3 Tutkimuksen rakenne	3
2 Kehittämistutkimuksen teoria.....	6
2.1 Kehittämistutkimuksen toteuttaminen	9
2.2 Kehittämistutkimuksen raportointi	13
2.3 Kehittämistutkimuksen luotettavuus	13
2.4 Kehittämistutkimuksen rooli tässä tutkimuksessa	15
3 Tieto- ja viestintäteknikka kemian opetuksessa	17
3.1 Mielekäs kemian oppiminen	17
3.1.1 Mielekkään oppimisen teoria	18
3.1.2 Kognitiiviset prosessit kemian opetuksessa	21
3.1.3 Mallit ja visualisointi kemian opetuksessa	25
3.1.4 Kokeellisuus kemian opetuksessa	29
3.1.5 Kontekstuaalisuus kemian opetuksessa	30
3.1.6 Tutkimusperustainen kemian opetus	32
3.2 Tieto- ja viestintäteknikkaan pohjautuvat kemian oppimisympäristöt	35
3.2.1 Verkon hyödyntäminen kemian oppimisympäristöissä	36
3.2.2 Käsitekartat kemian oppimisympäristöissä	38
3.2.2.1 Novakilaisen ja parannetun suomalaisen käsitekartan vertailu	38
3.2.3 Tietokoneavusteinen mallinnus kemian oppimisympäristöissä	40
3.3 Tieto- ja viestintäteknikkakoulutus kemian opetuksessa	44
3.3.1 Tieto- ja viestintäteknikka opetussuunnitelmien perusteissa	44
3.3.2 Koulutukseen liittyvät innovaatiot ja niiden diffuusio	45
3.3.3 Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen resurssit ja diffuusio suomalaiseen kemian opetukseen	47
4 Tutkimusmenetelmä	49
4.1 Tapaustutkimus	49
4.2 Laadullinen sisällönanalyysi	50
4.3 Historiatutkimus	52

5 Kehittämistutkimustapaukset	53
5.1 Tapaus I: Hyönteisten kemia mielekkään kemianoppimisen tukena	53
5.1.1 Vaihe 1: Alustava suunnittelu	54
5.1.2 Vaihe 2: Oppimisympäristön kehittäminen	54
5.1.2.1 Hyönteisten kemian esiintyminen lukion kemian oppikirjoissa	54
5.1.2.2 Oppimisympäristön ensimmäinen versio	55
5.1.3 Vaihe 3: Oppimisympäristön arviointi	59
5.1.4 Vaihe 4: Oppimisympäristön jatkokehittäminen ja tutkimuksen raportointi	61
5.1.4.1 Jatkokehittäminen opettajapalautteen pohjalta	61
5.1.4.2 Tutkimuksen raportointi	62
5.1.4.3 Oppimisympäristön jatkokehittäminen tutkijan vision mukaan	62
5.1.5 Yhteenveto ja pohdinta	66
5.2 Tapaus II: Kemian mallit ja visualisointi -kurssin kehittäminen	69
5.2.1 Vaihe 1: Malliteoriaan pohjautuva yhteisöllinen kehittäminen	69
5.2.1.1 Historiallisen mallin analyysi	70
5.2.1.2 Sisäisen mallin rakentaminen	70
5.2.1.3 Sisäisen mallin julkistaminen	71
5.2.1.4 Yhteisymmärrysmallin rakentaminen	71
5.2.1.5 Tulokset	71
5.2.1.5.1 Historiallisen kurssimallin mahdollisuudet ja haasteet	71
5.2.1.5.1.1 Kurssin historia	71
5.2.1.5.1.2 Historiallisen mallin analyysi	73
5.2.1.5.1.3 Sisäiset mallit	76
5.2.1.5.2 Kurssiin tehdyt muutokset	77
5.2.1.6 Yhteenveto ja pohdinta	79
5.2.2 Vaihe 2: Kehittämisen arviointi	81
5.2.2.1 Kehittämistuotoksen formatiivinen arviointi	81
5.2.2.2 Kehittämistuotoksen summatiivinen arviointi	83
5.2.2.3 Kehittämisprosessin ulkoinen arviointi	84
5.2.2.4 Tulokset	84
5.2.2.4.1 Uudistetun kurssin mahdollisuudet ja haasteet	84
5.2.2.4.1.1 Formatiivisen arvioinnin tulokset	84
5.2.2.4.1.2 Summatiivisen arvioinnin tulokset	86
5.2.2.4.2 Yhteisöllisen kehittämisen haasteet ja mahdollisuudet	91
5.2.2.5 Yhteenveto ja pohdinta	92
5.3 Tapaus III: Tieto- ja viestintätekniikkaa ja kokeellisuutta yhdistävien oppimisympäristöjen kehittäminen	96
5.3.1 Vaihe 1: Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä kokeellisuuden ja tieto- ja viestintätekniikan yhdistämisestä (pilottitutkimus)	96

5.3.1.1 Tutkimuksen eteneminen	96
5.3.1.2 Tulokset	98
5.3.1.2.1 Tieto- ja viestintätekniikkaoppimisympäristöjen mahdollisuudet ja haasteet	98
5.3.1.2.2 Kehitetyt oppimisympäristöt	99
5.3.1.2.3 Tieto- ja viestintätekniikan ja kokeellisuuden yhdistämisen mahdollisuudet ja haasteet	106
5.3.1.3 Yhteenveto ja pohdinta	108
5.3.2 Vaihe 2: Malliteoriaan pohjautuva yhteisöllinen kehittämistutkimus tutkimusperustaisen kemianopetuksen työtapana	110
5.3.2.1 Tutkimuksen eteneminen	110
5.3.2.2 Tulokset: Malliteoriaan pohjautuvan kehittämistutkimuksen mahdollisuudet ja haasteet opiskelijoiden työtapana	113
5.3.2.2.1 Historiallisiin malleihin tutustuminen	114
5.3.2.2.2 Yhteisymmärrysmallin rakentaminen pienryhmässä	115
5.3.2.2.3 Yhteisymmärrysmallin testaaminen	117
5.3.2.3 Yhteenveto ja pohdinta	118
6 Yhteenveto, johtopäätökset ja pohdinta	120
6.1 Mielekästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevan oppimisympäristön ominaisuuksia	123
6.2 Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvien oppimisympäristöjen mahdollisuudet mielekkään kemianoppimisen tukemisessa	126
6.3 Yhteisöllisyyden kehittämistutkimuksen toteuttamiselle asettamat mahdollisuudet ja haasteet	130
6.4 Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimuskohteet	135
6.4.1 Kansainvälisen opetuksentutkimuksen näkökulma	135
6.4.2 Kansallisen kemianopetuksen tutkimuksen näkökulma	137
Lähteet	139
Liitteet	

1 Johdanto

1.1 Tutkimuksen taustaa

Tutkimuksen päätavoitteena on kehittää kemian opetusta tukevaa tieto- ja viestintäteknikkakoulutusta (TVT-koulutus) ottamalla huomioon mielekkään kemianoppimisen asettamat mahdollisuudet ja haasteet. Tavoitteeseen pyritään kehittämällä TVT-pohjaisia oppimisympäristöjä ja niiden kehittämiskäytäntöjä osana kemian opettajankoulutusta, joiden arvioimisen kautta luodaan uusia tapoja lähestyä kemian opetusta.

TVT-koulutuksen uudistaminen on sekä kansallisesti että kansainvälisesti ajankohtainen ja tärkeä kemian opetuksen tutkimusaihe. TVT:n merkitystä opetuksessa painotetaan opetussuunnitelmien perusteissa (Opetushallitus, 2003, 2004), kansallisissa opetuksen kehittämissuunnitelmissa ja opetusstrategioissa (esim. Opetushallitus, 2011; Opetusministeriö, 2009; Valtioneuvoston kanslia, 2007) sekä myös kemian opetuksen tutkimuskirjallisuudessa (esim. Aksela & Lundell, 2008; Gilbert, de Jong, Justi, Treagust & Van Driel, 2002).

Opetussuunnitelmien perusteet korostavat modernin teknologian merkitystä nykyaikaisen maailmankuvan muodostumisessa. Yleissivistävässä koulutuksessa nuoret kasvavat osaksi modernia yhteiskuntaa ja kantavat vastuuta elinympäristöstä, missä TVT:lla on keskeinen rooli. (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197) Valtioneuvoston kanslia (2007) esittää yhdeksi TVT:n opetuskäytön päätavoitteeksi tieto- ja viestintäteknisen tasa-arvoisuuden. Jokaisella opetuslalla toimivalla henkilöllä, opiskelijalla ja sidosryhmällä tulisi modernin opetuksen ja opiskelun turvaamiseksi olla samanarvoiset TVT-mahdollisuudet. Tärkeitä kehittämisalueita ovat muun muassa yhteisöllinen oppiminen, verkostoituminen, joustavat opiskelumahdollisuudet, yksilöllisten koulutustarpeiden tukeminen, elinikäinen oppiminen ja työelämän haasteisiin vastaaminen. (Valtioneuvoston kanslia, 2007)

Opetusministeriön strategia 2020 nostaa suomalaisen koulutuksen keskeisimmäksi haasteeksi yhteiskunnan monimutkaistumisen, jonka myötä yksilöiden ja organisaatioiden tieto- ja taitovaatimukset kasvavat. Tulevaisuudessa tullaan yhä enemmän keskittymään muun muassa ympäristövastuun korostamiseen, eettisten ja sosiaalisten tietojen ja taitojen kehittämiseen sekä tietoyhteiskunnan myötä lisääntyvän teknologiaosaamisen hallitsemiseen. Myös opetusministeriön kilpailukykyohjelmassa TVT:n innovatiivisella hyödyntämisellä on keskeinen asema. Ohjelmassa painotetaan erityisesti uusien rajapintojen luomista muiden alojen kanssa ja niiden kehittämistä kotimaisiksi osaamisalueiksi, joilla voisi olla myös kaupallista arvoa. (Opetusministeriö, 2009)

Jyväskylän yliopiston julkaisemassa raportissa painotetaan TVT:lla olevan keskeinen rooli koulujen arjessa. Raportin mukaan TVT:n hyödyntämisestä ja kehittämisestä tarvitaan lisää systemaattisesti toteutettua tutkimusta strategioiden luomisen ja päätöksenteon tukemiseksi. (Kankaanranta, Vahtivuori-Hänninen & Koskinen, 2011) Tutkimuksen

merkitystä painottaa myös opetushallitus (2011). Opetushallituksen (2011) mukaan koulujen laitekanta alkaa vähitellen parantua ja tutkimuksessa täytyisi panostaa TVT:n hyödyntämistä tukevien pedagogisten mallien ja kehittämismallien kehittämiseen, mikä tukisi käytännön tasolla TVT-innovaation diffuusiota kouluihin.

Suomessa TVT:aan pohjautuvien oppimisympäristöjen kehittämiseen panostetaan tällä hetkellä paljon. Esimerkiksi Tekes on käynnistänyt Oppimistratkaisut 2011-2015 -hankkeen, jonka tavoitteena on kehittää laadukkaita TVT-pohjaisia oppimistratkaisuja oppilaitos-, yritys- ja tutkimusyhteistyötä hyödyntäen. Hankkeen tavoitteena on ensinnäkin kehittää suomalaisen opetukseen soveltuvia ratkaisuja, mutta toiseksi tuottaa myös vientiarvoa sisältäviä pedagogisia malleja (Tekes, 2011).

Tutkimuskirjallisuuden mukaan tarvitaan diffuusion tukemiseksi lisää tutkimusta TVT:n mahdollisuuksista ja haasteista kemian opetuksessa (Gilbert et al. 2002). Donnellyn, McGarrin ja O'Reillyn (2011) mukaan diffuusion etenemisessä opettajalla on keskeinen rooli. Tämä luo innovaatioiden kehittämiselle selkeän tavoitteen. Käyttöön otettavan TVT-innovaation on sovellettava koulukulttuuriin ja tarjottava opettajalle opetuksen toteuttamiseen aikaisempaa parempia toimintatapoja. Kemian opettajat kokevat TVT:n käyttöönoton keskeisiksi haasteiksi tiedolliset ja taidolliset haasteet sekä vähäiset laite- ja ohjelmistoresurssit. Myös suomenkielisen oppimateriaalin puuttuminen ja vähäinen täydennyskoulutustarjonta koetaan TVT:n käyttöönottoa hidastaviksi seikoiksi. (Aksela & Lundell, 2007)

Zhaon, Pughin, Sheldonin ja Byersin (2002) mukaan teknologian diffuusiolle kouluihin asettavat haasteita useat seikat. Ne voidaan luokitella kolmeen kategoriaan: 1) innovaattori (opettaja), 2) innovaatio ja 3) diffuusiokohde (koulu).

1. **Innovaattori:** Opettajan tulee tuntee käytettävän teknologian tekniset ja sosiaaliset mahdollisuudet ja haasteet sekä osata sovittaa ne sopiviin pedagogisiin toimintatapoihin. Lisäksi TVT:n käyttö vaatii opettajalta tukiverkostoa, joka auttaa teknisissä ja teoreettisissa ongelmissa. (Zhao et al. 2002)
2. **Innovaatio:** Innovaation tulee soveltua koulukulttuuriin ja käytössä oleviin toimintatapoihin. Uuden TVT-työkalun käyttöönottoa nopeuttaa, että se on yhteensopiva käytössä olevan teknologian kanssa. Lisäksi uuden innovaation tulisi olla helposti lähestyttävä, jolloin opettaja tarvitsee esimerkiksi käyttöönotossa vain vähän ulkopuolista apua. (Zhao et al. 2002)
3. **Diffuusiokohteen** täytyy tarjota innovaattorille ja innovaatiolle diffuusiota tukevia palveluja. Tällaisia palveluja ovat esimerkiksi tekninen ja tiedollinen ylläpito sekä vertaistukijärjestelmä. (Zhao et al. 2002)

Tässä tutkimuksessa TVT-koulutusta pyritään kehittämään pääosin innovaattorin ja innovaation tarpeet huomioon ottaen. Se on esimerkiksi Linnin (1996) mukaan tärkeää. Hänen mukaansa opettajat usein epäonnistuvat TVT-innovaation omaksumisessa, koska uusien innovaatioiden kehittäjät ovat usein tutkijoita, jotka eivät ymmärrä loppukäyttäjän tai diffuusiokohteen asettamia rajoituksia tai mahdollisuuksia.

Tutkimuksessa opettajat ja tulevat opettajat (opiskelijat) sisällytetään aktiiviseksi osaksi kehittämisprosessia, mikä varmistaa heidän tarpeidensa sisällymisen kehittämisprosessiin. Tämä myös sitouttaa heitä osaksi kehittäjäyhteisöä ja edistää TVT:n diffuusiota opetuskäytäntöihin. Tutkimusprosessin osana kehittäjät oppivat sekä teknologian mahdollisuuksia että sen käyttöön soveltuvia pedagogisia toimintatapoja. Opettajat tarkastelevat kehittämistä omien tarpeiden mukaan ja pyrkivät luomaan innovaatiosta koulukulttuuriin soveltuvan. Innovaatioiden kehittämistä ohjataan mielekkääseen kemianopetukseen liittyvien mahdollisuuksien ja haasteiden pohjalta. Niitä ovat esimerkiksi kemiaa koskevan tiedon luonne, kontekstuaalisuus, kokeellisuus ja tutkimusperustaisuus. Tiedot ja taidot kehittyvät, ja lisäksi opettajat muodostavat yhteistyöverkostoja, mikä lopulta tukee myös diffuusiokohdetta.

1.2 Päättutkimuskysymykset

Tutkimusta ohjasivat kolme kehittämistutkimuksen ydinosaa-alue (Edelson, 2002) käsittelevää päättutkimuskysymystä:

1. **Kehittämistuotos:** Millaisia ominaisuuksia on mielekästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevalla tieto- ja viestintäteknikkaan pohjautuvalla oppimisympäristöllä?
2. **Ongelma-analyysi:** Millaisia uusia mahdollisuuksia kehitetyt oppimisympäristöt tuovat mielekkään kemianoppimisen tukemiselle?
3. **Kehittämisprosessi:** Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita yhteisöllisyys asettaa tieto- ja viestintäteknikkaan pohjautuvien oppimisympäristöjen kehittämiseksi?

1.3 Tutkimuksen rakenne

Väitöskirja koostuu kolmesta kehittämistutkimustapauksesta, jotka raportoidaan yhtenä kehittämistutkimusprojektina. Tapaustutkimusten kehittämistä ohjattiin tutkimusprojektin teoreettisen ongelma-analyysin avulla rajatun teoreettisen viitekehyksen avulla, joka rakentuu kehittämistutkimuksen teoriasta (ks. luku 2) ja TVT:sta kemian opetuksessa (ks. luku 3).

Luku 2 käsittelee kehittämistutkimuksen teoriaa, toteuttamista, raportointia ja

luotettavuutta. Tavoitteena on kuvailla kehittämistutkimus menetelmänä sekä esitellä erilaisia toteuttamis- ja raportointimalleja. Luvussa 3 tarkastellaan TVT:n roolia kemian opetuksessa mielekkään kemianoppimisen (ks. luku 3.1), TVT-pohjaisten kemian oppimisympäristöjen (ks. luku 3.2) ja kemian TVT-koulutuksen pohjalta (ks. luku 3.3).

Mielekäs kemian oppiminen rajataan tutkimuskirjallisuuden perusteella mielekkään oppimisen teoriaan (ks. luku 3.1.1), kognitiivisiin prosesseihin (ks. luku 3.1.2), kemian visualisointeihin (ks. luku 3.1.3), kokeellisuuteen (ks. luku 3.1.4), kontekstuaalisuuteen (ks. luku 3.1.5) ja tutkimusperustaiseen kemian opetukseen (ks. luku 3.1.6). Tutkimusten kehittämiskontekstit esitellään luvussa 3.2. Kehittäminen kohdistuu verkon (ks. luku 3.2.1), tietokoneavusteisten käsitekarttojen (ks. luku 3.2.2) ja TVT-avusteisen mallinnuksen (ks. luku 3.2.3) hyödyntämiseen kemian opetuksessa. Kehitettäviä tietokoneavusteisia mallinnustyökaluja ovat molekyylimallinnus, simulaatiot, animaatiot ja videot.

Luvussa 3.3 TVT:n hyödyntämiseen liittyvää koulutusta tarkastellaan vuosien 2003-2004 opetussuunnitelmien perusteiden teoreettisten mallien (ks. luku 3.3.1) ja Rogersin (1962) innovaation diffuusioteorian pohjalta (ks. luku 3.3.2). Luku 3 esittelee myös esimerkin innovaation diffuusiosta tarkastelemalla molekyylimallinnusinnovaation diffuusiota kotimaiseen kemian opetukseen aikaisemman tutkimuksen pohjalta (ks. luku 3.3.3).

Luvussa 4 esitellään kehittämistutkimuksissa käytetty päätutkimusmenetelmä tapaustutkimus (Cohen, Manion, & Morrison, 2007, 253-263) sekä tapaustutkimusten päätutkimusmetodi laadullinen sisällönanalyysi (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-118). Lisäksi luvussa käydään lyhyesti läpi toisen tapauksen aineiston keruussa hyödynnetty historiatutkimus (Cohen et al. 2007, 191-204).

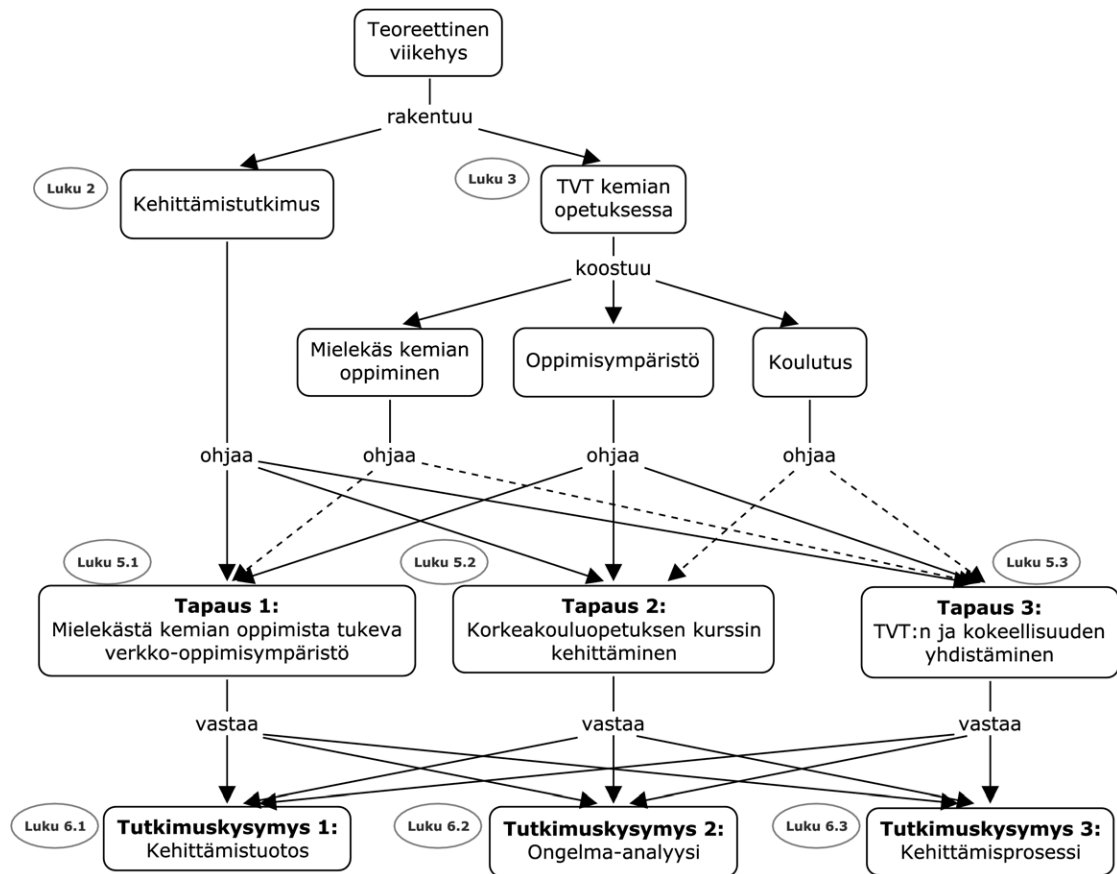
Luvussa 5 esitellään väitöskirjan kolme kehittämistutkimusta, jotka käsitellään erillisinä tapaustutkimuksina kehittäjäryhmien mukaan. Luvun 5.1 kehittämistutkimuksessa kehitettiin mielekästä kemian oppimista ja opetusta tukeva kontekstuaalinen kemian verkko-oppimisympäristö. Tässä tapauksessa päävastuu kehittämisestä oli yhdellä tutkijalla ja kemian opettajat osallistuivat kehittämisprosessiin.

Luvun 5.2 kehittämistutkimuksessa uudistettiin Kemian mallit ja visualisointi -kurssia vastaamaan paremmin kemian opetuksen tavoitteita sekä testattiin ja arvioitiin tutkimuksessa kehitettyä malliteoriaan pohjautuvaa yhteisöllistä kehittämistutkimusmenetelmää. Tässä tapauksessa kehittäjinä toimivat tutkijat yhteisöllisesti ja aineenopettajaopiskelijat osallistuivat kehittämisprosessiin tuotoksen arvioijina.

Luvussa 5.3 raportoidaan kehittämistutkimus, jonka ensimmäisessä vaiheessa kehitettiin TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistäviä kemian oppimisympäristöjä, joiden avulla selvitettiin opiskelijoiden ja opettajien käsityksiä kyseisestä aiheesta. Tutkimuksen toisessa vaiheessa testattiin ja arvioitiin luvun 5.2 tapauksessa kehitetyn malliteoriaan pohjautuvan kehittämistutkimuksen soveltuvuutta tutkimusperustaisen kemianopetuksen työtavaksi. Tässä tapauksessa kehittäjinä toimivat opiskelijat, kehittäminen tapahtui yhteisöllisesti ja tutkija koordinoi kehittämisen päävaiheet.

Luvussa 6 esitetään koko tutkimuksen yhteenveto päätutkimuskysymyksiin

vastaamalla. Lisäksi luvussa pohditaan tutkimuksen merkitystä kansalliselle ja kansainväliselle tutkimukselle ja esitetään tärkeimpiä jatkotutkimusmahdollisuuksia. Kuvassa 1.3 on mallinnettu tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen, tapaustutkimusten ja päätutkimuskysymysten välinen yhteys.



Kuva 1.3. Tutkimuksen teoreettisen viitekehyksen, tapaustutkimusten ja päätutkimuskysymysten välinen yhteys

2 Kehittämistutkimuksen teoria

Tässä luvussa esitellään kehittämistutkimuksen mahdollisuudet ja haasteet opetuksen tutkimusmenetelmänä. Tavoitteena on antaa kokonaisvaltainen kuva kehittämistutkimuksen teoreettisista perusteista (ks. luku 2), raportoinnista (ks. luku 2.2) ja luotettavuuskriteereistä (ks. luku 2.3). Lisäksi luvussa esitellään erilaisia kehittämistutkimusprojekteja (ks. luku 2.1) ja tarkastellaan, millainen rooli kehittämistutkimuksella oli tässä tutkimuksessa (ks. luku 2.4).

Kehittämistutkimus on tutkimusmenetelmä, jossa kehittäminen ja tutkiminen yhdistyvät teoreettisia ja kokeellisia vaiheita sisältävässä syklisessä prosessissa (Edelson, 2002). Kehittämistutkimus voidaan määritellä metodologiaksi, jonka tavoitteena on kehittää opetusta todellisissa tilanteissa systemaattisesti, joustavasti ja iteratiivisesti. Jatkuvan arvioinnin ja kehittämisen yhteydessä hyödynnetään erilaisten sidosryhmien asiantuntijuutta. (Wang & Hannaf, 2004)

Kehittämistutkimus on suhteellisen nuori tutkimusmenetelmä. Opetuksen tutkimuksessa kehittämistutkimuksia on tehty vasta 90-luvun alkupuolelta lähtien (esim. Brown, 1992; Collins, 1992). Tutkimusmenetelmä on syntynyt tarpeesta kehittää opetusta ja oppimisympäristöjä käytännön tarpeiden näkökulmasta. Tämä pitää sisällään muun muassa konstruktivistisia ja kontekstuaalisia vaikutteita. Myös TVT:n nopea kehittyminen ja mielekäs integrointi opetukseen synnyttivät uudentyyppisen tutkimusmenetelmän tarpeen. (Brown, 1992) Lyhyen historiansa aikana kehittämistutkimuksesta on julkaistu jonkin verran artikkeleita. Tutkimuskirjallisuudessa on käyty keskustelua kehittämistutkimuksen historiasta, metodologiasta, raportoinnista ja erilaisista toteuttamismalleista (esim. Barab & Squire, 2004; Bell et al. 2004; Brown, 1992; Cobb, 2001; Cobb, Confrey, diSessa, Lehrer & Schauble, 2003; Collins, Joseph & Bielaczyc, 2004; Dede, 2004; Design-Based Research Collective, 2003; diSessa & Cobb, 2004; Edelson, 2002; Hoadley, 2004; Joseph, 2004; Juuti & Lavonen, 2006; Kelly, 2004; O'Donnell, 2004; Sandoval & Bell, 2004). Yleisesti hyväksytyn mielipiteen mukaan kehittämistutkimus on luonteeltaan iteratiivista ja kehittäminen on usein kontekstuaalista. Eniten on keskusteltu kehittämistutkimuksen toteuttamisesta ja luotettavuuskriteereistä. (Sandoval & Bell, 2004)

Barabin ja Squiren (2004) mukaan kehittämistutkimus koostuu erilaisten lähestymistapojen kokoelmasta. Kehittäminen pohjautuu teoriaan ja tuottaa myös uutta teoriaa, mikä erottaa sen puhtaasta formatiivisesta arvioinnista. Kehittäminen validoidaan pragmaattisilla ratkaisuilla, jotka tehdään naturalistisessa kontekstissa. (Barab & Squire, 2004) Myös Juuti & Lavonen (2006) ehdottavat kehittämistutkimukselle toiminnan ja teorian yhdistävää pragmaattista lähestymistapaa. Heidän mukaansa kehittämistutkimuksella on kolme ominaispiirrettä: 1) iteratiivinen kehittäminen syntyy muutoksen tarpeesta, 2) kehittämisestä syntyy käytettävä tuotos ja 3) kehittäminen tuottaa opetusta edistävää tietoa. Collins et al. (2004) puolestaan ehdottavat, että kehittämistutkimukseen soveltuu etnografinen monimenetelmällinen tutkimusote, jossa yhdistetään kvantitatiiviset ja kvalitatiiviset tutkimusmenetelmät (*engl. mixed methodology*). Kehittämistutkimuksen toteuttaminen

käsitellään yksityiskohtaisesti luvussa 2.1.

Kehittämistutkimuksen teoriapohjana tai kehittämistavoitteena voi olla useita erilaisia teorioita, joista jokaisella on omat mahdollisuudet ja haasteet. Esimerkiksi diSessa ja Cobb (2004) esittelevät neljä erilaista teoriakategoriaa: pääteoriat, ajattelua ohjaavat teoriat, toimintaa ohjaavat teoriat ja oppiainekohtaiset teoriat.

- **Pääteoriat** (esim. evoluutio tai Newtonin mekaniikka) käsittelevät asioita usein niin yleisellä tasolla, että niihin pohjautuvan kehittämisen haasteena on vastata yksityiskohtaisiin kehittämistarpeisiin. Toisaalta ne ovat pitkäikäisiä ja pysyvät ajankohtaisina pitkään.
- **Ajattelua ohjaavat teoriat** (esim. konstruktivismi tai kulttuurisidonnainen teoria) mahdollistavat opetukseen ja oppimiseen liittyvän kehittämisen käsitteellistämisen. Niiden haasteena on laaja yleistäminen, koska tietoa saadaan vain tietynlaisen ryhmän käsityksistä tai toiminnasta.
- **Toimintaa ohjaavat teoriat** (esim. tutkimusperustainen opetus (ks. luku 3.1.6)) soveltuvat usein kehittämistutkimuksen teoriapohjaksi, sillä kehittämistutkimus tuottaa käytännön ratkaisuja. Niiden haasteena on teorioiden monitahoisuus. Toimintaa ohjaavat teoriat pitävät sisällään niin paljon eri osatekijöitä, että niiden kokonaisvaltainen huomioon ottaminen kehittämisessä on haastavaa.
- **Oppiainekohtaiset teoriat** (esim. tietokoneavusteinen mallinnus kemian opetuksessa (ks. luku 3.2.3)) mahdollistavat esimerkiksi tietyn käsitteen opettamiseen kehitettävien toimintamallien kehittämisen ja testaamisen.

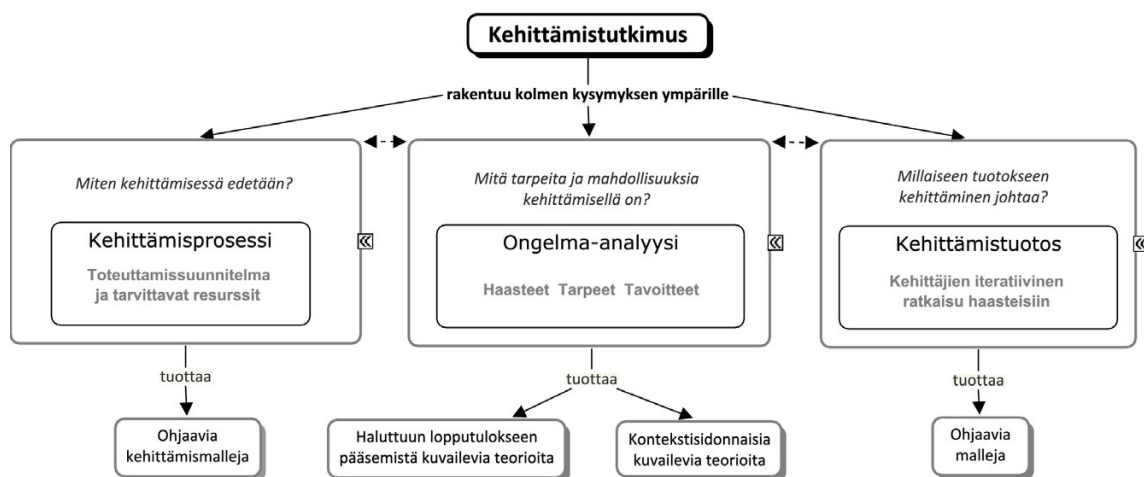
diSessan ja Cobbin (2004) mukaan nämä neljä teoriakategoriaa eivät ole riittävä tavoite kokonaisvaltaiselle kehittämistutkimukselle. Kehittämistavoitteeksi he ehdottavat ontologista innovaatiota, jolla he tarkoittavat uutta ymmärtämisen kategoriaa. Ontologinen innovointi mahdollistaa muun muassa teoreettisen ajattelun kytkemisen empiiriseen dataan sekä toimivien ajattelumallien kehittämisen, testaamisen ja yleistämisen. Ontologisen innovaation haasteena on todellisen ontologisen innovaation harvinaisuus. Ne ovat usein jo jossain muodossa löydettyjä.

Tutkimuskirjallisuudessa kritisoidaan kehittämistutkimuksen luotettavuutta. Esimerkiksi Deden (2004) mukaan kehittämistutkimukselle ei ole tähän mennessä määritelty yhteneviä tutkimuskäytäntöjä. Dataa keraantyy usein paljon, mikä aiheuttaa tutkijoille sen objektiiviseen ja puolueettomaan analysointiin liittyviä haasteita. Hänen mukaansa kehittämistutkimuksen suurimpia haasteita ovat laajojen ja pitkien tutkimusprojektien koordinointi, teoriapohjan vahvistaminen ja tutkimusmenetelmien standardointi. Hän ehdottaa, että kehittämistutkimusta itseään tulisi kehittää kehittämistutkimuksen metodein.

Kehittämistutkimuksen luotettavuus käsitellään tarkemmin luvussa 2.3.

Kuten aikaisempi tutkimustieto osoittaa, kehittämistutkimuksen yksinkertainen ja eksplisiittinen kuvailu on vaikeaa. Sen toteuttamiseen ei voida määritellä yksityiskohtaisia yleismalleja, mutta sen mahdollisuuksia voidaan Edelsonin (2002) mukaan arvioida nostamalla esille muutamia ydinosa-alueita. Kehittämistutkimuksella voidaan tavoitella vastauksia kolmeen kysymykseen: i) miten kehittämisessä edetään, ii) millaisia tarpeita ja mahdollisuuksia kehittämisellä on ja iii) millaiseen tuotokseen kehittäminen johtaa? Näihin kolmeen kysymykseen vastaaminen jakaa kehittämistutkimuksessa tehtävät kehittämispäätökset kolmeen kategoriaan: 1) kehittämisprosessi, 2) ongelma-analyysi ja 3) kehittämistuotos (ks. kuva 2). (Edelson, 2002)

1. **Kehittämisprosessikategorian** kehittämispäätöksissä päätetään henkilöt ja prosessit, joita tarvitaan koko tutkimuksen suunnittelussa, valmisteluissa, toteuttamisessa, tutkimusprosessin kehittämisessä, tuotoksen testaamisessa, arvioinnissa ja jalostamisessa. (Edelson, 2002)
2. **Ongelma-analyysikategoriassa** selvitetään kehittämistutkimuksen haasteet ja tarpeet ja määritellään tavoitteet. Ongelma-analyysi voi olla teoreettinen tai empiirinen ja koostua esimerkiksi tarveanalyysistä, testaamisesta tai arvioinnista. (Edelson, 2002)
3. **Kehittämistuotuskategoria** on kehittäjien ratkaisu ongelma-analyysissä esiin nousseisiin haasteisiin ja kehittämisprosessin mahdollisuuksiin. Kehittämistuotos kehittyy iteratiivisesti tutkimusprosessin edetessä ja kehittäjien tietojen syentyessä. (Edelson, 2002)



Kuva 2. Kehittämistutkimuksen kolme ydinosa-aluetta (Edelson, 2002)

Jokainen kehittämisprosessikategoria tuottaa erityyppistä tietoa:

1. **Kehittämisprosessikategoria** tarkastelee koko kehittämistutkimusta. Sen avulla saadaan selville, mitä vaiheita tutkimus sisältää, miten yksilöt toimivat osana kokonaisuutta tai millaisia asiantuntemuksen lajeja tietyssä kehittämiskontekstissa tarvitaan. Kehittämisprosessikategoria tuottaa ohjaavia teorioita. (Edelson, 2002)
2. **Ongelma-analyysikategoria** tuottaa sekä kontekstisidonnaisia teorioita että teorioita, jotka kuvailevat, miten tavoiteltuun lopputulokseen on päästy. Esimerkiksi tässä väitöskirjassa ongelma-analyysillä selvitetään kehitettävien oppimisympäristöjen tarpeet, joiden pohjalta määritellään tavoitteet (kontekstisidonnainen teoria). Ongelma-analyysikategoria tuottaa kuvailevia teorioita. (Edelson, 2002)
3. **Kehittämistuotokategoria** tuottaa kontekstisidonnaisia malleja. Kontekstisidonnainen malli voi olla esimerkiksi tietyn ilmiön opettamiseen soveltuva konkreettinen opetusmateriaali tai tietylle opiskelijaryhmälle suunniteltu kurssi. Kehittämistuotokategoria tuottaa ohjaavia malleja. (Edelson, 2002)

2.1 Kehittämistutkimuksen toteuttaminen

Kehittämistutkimuksen toteuttaminen eroaa perinteisestä kvantitatiivisesta tutkimuksesta. Kehittämistutkimuksessa kehitettävää ilmiötä tarkastellaan todellisissa olosuhteissa hyödyntäen tutkimukseen osallistujia kehittämisprosessissa, kun taas perinteiset tutkimusmenetelmät pyrkivät mittaamaan tiettyjä muuttujia ja tarkastelevat tutkimukseen osallistujia puhtaasti koehenkilöinä. Kehittämistutkimustilanne on avoin, jolloin myös mitattavia muuttujia on enemmän kuin perinteisillä tutkimusmenetelmillä. (Collins, 1999) Tarkasteluun voidaan sisällyttää muun muassa tapahtumapaikka, oppijoiden luonne, etenemistapa, ammatillinen kasvu sekä oppimis- tai opetuskonteksti (Collins et al. 2004).

Kehittämistutkimus etenee iteratiivisesti kokeellisten ja teoreettisten vaiheiden kautta, minkä vuoksi kuvassa 2 visualisoidut kehittämistutkimuksen ydinosa-alueet ovat keskenään vahvassa vuorovaikutuksessa. Kehittämistutkimus on luonteeltaan joustava tutkimusmenetelmä. Tutkimuksen edetessä suoritetaan jatkuvaa formatiivista arviointia, ongelma-analyysia syvennetään, haasteet nostetaan uusiksi tavoitteiksi ja tuotosta testataan uudelleen sekä kehitetään edelleen vastaamaan paremmin kehittämistutkimukselle asetettuja tavoitteita. (Edelson, 2002)

Kehittäminen toteutetaan usein yhteisöllisesti erilaisten sidosryhmien vahvuusalueita hyödyntäen. Esimerkiksi Yun, Jannasch-Pennellin, DiGangin ja Wijesuriyan (2002) tutkimuksessa yliopistotason verkkokurssin kehittämisen yhteydessä sisällön ja multimedian kehittämisessä hyödynnettiin eri sidosryhmiä. Kurssi kehitettiin tiedekunnalle, joka määritteli kehittämistarpeen ja ohjasi kehittämistä testaamalla kehittämistuotosta ja antamalla siitä

palautetta kehittäjäryhmille. Tutkimuksessa todettiin yhteisöllisen kehittämistutkimuksen olevan työläs menetelmä, mutta onnistuessaan kehitetyn kurssin käytettävyyden todettiin olevan hyvä, mikä tuki opetustyötä ja kurssilla opiskelua. (Yu et al. 2002)

Ziegenfussin ja Lawlerin (2008) tutkimuksessa kehitettiin yhteisöllisesti jatko-opiskelijoille tarkoitettu kurssi, jossa painotettiin kohderyhmän tarpeiden huomioon ottamista. Heidän mukaansa hallinnon ja kehittäjien välisenä yhteistyönä toteutettu kehittämistutkimus tuo etuja koko organisaatiolle, kuten esimerkiksi kokonaisvaltaisen yhteisymmärryksen kasvun. Organisaation työilmapiiri paranee ja organisaatio muuttuu vastaanottavaisemmaksi uuden kehittämistä kohtaan. (Ziegenfuss & Lawler, 2008)

Yhteisöllisyys tuo kehittämistutkimuksen toteuttamiseen sekä mahdollisuuksia että haasteita. Kehittäjien välinen hyvä luottamus ja yhteisymmärrys pohjustavat yhteisöllisen kehittämisen onnistumista. Mitä kokonaisvaltaisempi ymmärrys kehittämisvisiosta kehittäjien välillä vallitsee, sitä onnistuneemmin tutkimus etenee kohti tavoiteltua päämäärää. Toisaalta jos työilmapiiri on heikko ja yhteisymmärrys vähäinen, seuraa haasteita muun muassa palautteen vastaanottamiselle ja sen pohjalta tehdyille jatkokehittämiselle. Yhteisöllisyyden on todettu olevan olennainen seikka kehittämisen luotettavuuden takaamiseksi esimerkiksi kurssien kehittämisessä. Yhteisöllisen kehittämisen tarve kasvaa kehittämisvaatimusten kasvaessa. Yhteisöllisyys aiheuttaa myös haasteita. Esimerkiksi kehittäjien lukumäärän kasvaessa tiedotukseen ja koordinointiin tarvittava työmäärä kasvaa. Myös kehittäjien kokemus vaikuttaa. Kokemattomat kehittäjät tarvitsevat yksityiskohtaisempia kehittämisohjeita ja enemmän ohjausta, kun taas kokeneet kehittäjät arvostavat vapautta. (Chao, Saj & Hamilton, 2010)

Kehittämistutkimus soveltuu useantyyppisiin projekteihin. Kehittämistutkimuksilla on kehitetty esimerkiksi TVT-pohjaisia kemian oppimisympäristöjä (esim. ASTEL, Juuti, 2005; VRP, Aksela, 2005; WISE, Slotta, 2004), kemian visualisointiohjelmistoja (esim. ChemSense, Schank & Kozma, 2002) ja kontekstisidonnaisia teorioita (esim. termodynamiikan opettaminen verkkoympäristössä, Clark, 2004). Taulukossa 2.1 esitetään ydinkohdat yllä mainittujen kehittämistutkimusten toteuttamisesta.

Taulukko 2.1. Esimerkkejä kehittämistutkimuksien toteuttamisesta

Tutkimus	Tutkimuskysymys / tutkimustavoite	Tutkimusmenetelmät	Eteneminen	Päätulokset
ASTEL (Juuti, 2005)	1) Millaisen kehittämisprosessin avulla saadaan kehitettyä alaluokille soveltuva fysiikan oppimisympäristö? 2) Millaisia ominaisuuksia alakouluun soveltuvalla fysiikan oppimisympäristöllä on? 3) Miten alakoululaiset oppivat Newtonin mekaniikan kehitetyllä oppimisympäristöllä?	- Määrällisten ja laadullisten tutkimusmenetelmien yhdistäminen - Käytetyt tutkimusmenetelmät: haastattelu, havainnointi ja kysely	Vaiheet: 1) Teoreettinen ongelma-analyysi 2) Neljä sykliä sisältävä kehittämisprosessi, joka koostui kehittämisvaiheista ja empiirisistä ongelma-analyysivaiheista 3) Kehittämisprosessin kuvaus 4) Kehittämistuotoksen kuvaus 5) Johtopäätökset ja pohdinta	1) Kehittämisprosessi: Nelivaiheinen kehittämisproseduuri: i) tarpeiden analysointi, ii) tavoitteiden määrittely, iii) materiaalin kehittäminen ja iv) materiaalin arviointi (vaiheet 3 ja 4 ovat iteratiivisia sisältäen kolme tasoa: rajoitettu testaus prototyypin osalla, pilottitestaus prototyypin ensimmäisellä versiolla, kenttätestaus prototyypin toisella versiolla). 2) Kehittämistuotos: TVT-pohjainen oppimisympäristö sekä tietoa sen ominaisuuksista 3) Ongelma-analyysi: Kontekstisidonnaista tietoa fysiikan oppimisesta alakoulussa
VRP (Aksela, 2005)	1) Minkälainen opiskelu ympäristö innostaa opiskelijat merkitykselliseen kemian oppimiseen ja korkeamman tason ajatteluun? 2) Miten kehitetty oppimisympäristö tukee opiskelijoiden merkityksellistä kemian oppimista ja korkeamman tason ajattelua? 3) Mitä opiskelijat ajattelevat käyttämästään opiskelu ympäristöstä?	- Määrällisten ja laadullisten tutkimusmenetelmien yhdistäminen - Käytetyt tutkimusmenetelmät: haastattelu, osallistuva havainnointi, kysely, videointi ja tuotosten laadullinen sisällönanalyysi - Tutkimusotos käsitti 488 opettajaa ja 88 opiskelijaa	Koostui yhdeksästä vaiheesta: 1) tarveanalyysi 2) opiskelu ympäristön tavoitteiden kuvaus tarveanalyysin pohjalta 3) kehittämistuotos I 4) empiirinen ongelma-analyysi I: pilottitutkimus 5) tavoitteiden tarkennettu kuvaus 6) kehittämistuotos II 7) empiirinen ongelma-analyysi II 8) kehittämistuotos III 9) empiirinen ongelma-analyysi II	1) Kehittämisprosessi: Tietoa opiskelu ympäristön suunnittelu- prosessista ja sen menetelmistä 2) Kehittämistuotos: TVT-pohjainen oppimisympäristö sekä tietoa sen ominaisuuksista 3) Ongelma-analyysi: Kontekstisidonnaista tietoa merkityksellisestä kemian oppimisesta ja korkeamman tason ajattelusta TVT- pohjaisessa oppimisympäristössä

ChemSense (Schank & Kozma, 2002)	ChemSense-projekti on monitieteinen kehittämistutkimus, jonka tavoitteena on tutkia visualisointityökalujen, tutkimuksellisen opetuksen ja keskustelun vaikutusta kemian oppimiseen ja opettamiseen lukioissa ja korkeakouluissa.	<ul style="list-style-type: none"> - Määrällisten ja laadullisten tutkimusmenetelmien yhdistäminen - Käytetyt tutkimusmenetelmät: pre- ja posttestit, haastattelu, videointi ja opiskelijoiden esityksien analysointi - Tutkimusotos käsitti 14 opettajaa ja 67 opiskelijaa 	Useita teoreettisia ja empiirisiä vaiheita: esimerkiksi tutkimuksen tavoitteet on nostettu aikaisemman kirjallisuuden pohjalta ja materiaalia on arvioitu ja kehitetty useiden tapaustutkimusten kautta, joista osa on raportoitu julkaisuina.	<p>1) Kehittämisprosessi: Tietoa kemian opetusohjelmiston kehittämisestä (millaisia vaiheita ja asiantuntijalajeja kehittäminen vaatii)</p> <p>2) Kehittämistuotos: ChemSense-ohjelmisto sekä tietoa sen ominaisuuksista</p> <p>3) Ongelma-analyysi:</p> <ul style="list-style-type: none"> - tietoa kemian ilmiöiden oppimisesta - tietoa, miten ChemSenseä tulisi käyttää opetuksen tukena - tietoa, miten opettajia tulee kouluttaa ChemSensen käyttöön
Termo-dynamiikan opettaminen verkko-ympäristössä, (Clark, 2004)	WISEn kehittämisen yhteydessä tutkijat kiinnostuivat kokeellisuuden ja WWW-oppimisympäristön yhdistämisestä. Työkaluksi valittiin mittausautomaatio ja visualisoinnit sekä kontekstiksi termodynamiikka.	<ul style="list-style-type: none"> - Määrällisten ja laadullisten tutkimusmenetelmien yhdistäminen - Käytetyt tutkimusmenetelmät: haastattelu, havainnointi, kysely, videointi ja pre- ja posttestit verrokki- ja kontrolliryhmillä - Alfavaihe: 120 opiskelijaa - Betavaihe: 120 opiskelijaa 	Vaiheet: 1) Teoreettinen ongelma-analyysi I (tarveanalyysi) ja tavoitteiden luominen 2) Alfaversion kehittäminen 3) Alfaversion testaaminen 4) Betaversion kehittäminen 5) Betaversion testaaminen 6) Prototyypin integroiminen WISE-oppimisympäristöön 7) Prototyypin jatkuva arviointi ja kehittäminen osana WISE-oppimisympäristöä	<p>1) Kehittämisprosessi: Tietoa visualisointien kehittämisestä sekä uusien oppimisympäristöjen liittämisestä osaksi WISEä</p> <p>2) Kehittämistuotos: Termodynamiikan oppimisympäristö, jossa yhdistyvät TVT ja kokeellisuus sekä tietoa tämälntyyppisen oppimisympäristön ominaisuuksista</p> <p>3) Ongelma-analyysi: Kontekstisidonnaista tietoa termodynamiikan visualisoinnista ja oppimisesta</p>

2.2 Kehittämistutkimuksen raportointi

Kehittämistutkimuskirjallisuudessa on käyty keskustelua kehittämistutkimuksen raportoinnista. Collins et al. (2004) painottavat, että perinteisesti tieteellinen julkaisu sisältää johdannon ja tiivistelmän lisäksi neljä osiota: teoreettinen viitekehys, tutkimusmenetelmät, tulokset ja pohdinta. Kehittämistutkimusta ei heidän mukaansa tule raportoida samalla tavalla, vaan raportin tulee sisältää ainakin seuraavat osiot:

1. Teoriaan ja kontekstiin kytketyt kehittämistavoitteet
2. Tutkimusasetelman tarkka kuvaus, jolloin pystytään arvioimaan syklittäistä muutosta
3. Syklittäiset kehittämiskuvaukset, joista käy ilmi, miksi ja millaisia muutoksia kehittämisessä tehtiin
4. Syklittäiset kehittämistulokset
5. Pohdintaosuus, jossa otetaan kantaa kehittämisen mahdollisuuksiin ja haasteisiin

Bell et al. (2004) taas suosittelevat kehittämistutkimuksen raportointia kehittämiskuvauksen (*engl. design narrative*) muodossa, ottamatta sen tarkempaa kantaa kuvauksen rakenteeseen. Kehittämiskuvauksen tavoitteena on antaa lukijalle luotettava ja kokonaisvaltainen kuva koko kehittämisprosessista. Siinä voidaan kuvailla esimerkiksi kehittämisolosuhteita, kehittämispäätöksiä, kehittämistavoitteita tai arvioinnin tuloksia. Kehittämiskuvaus voidaan julkaista esimerkiksi yksittäisinä artikkeleina (Edelson, 2002), artikkelisarjana tai monografiana (Juuti & Lavonen, 2006).

2.3 Kehittämistutkimuksen luotettavuus

Perinteisesti tieteellisen tutkimuksen luotettavuutta arvioidaan validiteetin (pätevyys, tutkimus kohdistuu siihen, mitä on aiottu tutkia) ja realibiliteetin (luotettavuus, tulosten toistettavuus) avulla. Nämä käsitteet ovat kehittyneet määrällisen tutkimuksen maailmassa, minkä vuoksi ne eivät sellaisenaan ole sovellettavissa usein laadullisia osioita sisältävään kehittämistutkimukseen. (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 136-139) Laadullisen tutkimuksen luottavuustarkasteluun sovelletaan yleisesti Lincolnin ja Guban (1985) kehittämää luokittelua, joka sisältää neljä luokkaa: uskottavuus, siirrettävyys, luotettavuus ja varmuus sekä vahvistettavuus. (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 136-139)

Luotettavuusanalyysin näkökulmasta kehittämistutkimus on haasteellinen tutkimusmenetelmä, mutta sitä voidaan arvioida peilaamalla Design-Based Research Collectiven (2003) määrittelemiä yleisiä laadukkaan kehittämistutkimuksen kriteereitä Lincolnin ja Guban (1985) luokitteluun.

- Kehittämisen tulee olla kokonaisvaltaista, jolloin kehittämistuloksena saadaan sekä ohjaavia malleja ja teorioita että kuvailevia teorioita (uskottavuus ja siirrettävyys).
- Kehittämisen tulee edetä sykleittäin ja sisältää jatkuvaa kehittämistä ja arviointia (uskottavuus, luotettavuus ja vahvistettavuus).
- Kehittämisessä tulee pyrkiä teorioihin, jotka ovat siirrettävissä kentälle opettajien tai muiden opetusalan ammattilaisten käyttöön (siirrettävyys).
- Kehittämisprosessiin tulee sisältyä testaamista autenttisissa olosuhteissa (siirrettävyys, luotettavuus ja vahvistettavuus).
- Kehittämistutkimuksen kaikki syklit tulee dokumentoida tarkasti (luotettavuus ja vahvistettavuus). (Design-Based Research Collective, 2003; Tuomi & Sarajärvi, 2009, 136-139)

Kellyn (2004) mukaan juuri avoimuus ja kompleksisuus ovat tärkeimpiä kehittämistutkimuksen luotettavuustarkastelussa huomioon otettavia seikkoja. Ne tekevät tutkimuksen mielekkään rajaamisen ja raportoinnin vaikeaksi, sillä esimerkiksi tutkimusaineistoa tulee paljon, hyvin erilaisista lähteistä ja joskus myös suunnittelemattomana. Tämän vuoksi myös yleistysten tekeminen on haasteellista. Yleistyksiä tehdessä virhettä aiheuttavat muun muassa sosiaalisen tapahtuman ainutlaatuisuus, johon vaikuttavat muun muassa sosiaaliset hierarkiat ja ainutkertainen kehittämiskonteksti. (Kelly, 2004)

Arvostelijoiden mukaan kehittämistutkimuksen heikkoutena on, että se toteutetaan usein kvalitatiivisena pienellä otoskoolla. Se ei siten kuvaa perusjoukkoa niin hyvin, kuin kvantitatiiviset tutkimusmenetelmät korkeatasoiselta tieteelliseltä tutkimukselta odottavat. Kehittämistutkimuksen puolustajat taas argumentoivat kehittämistutkimuksen vahvuuden olevan juuri tutkimustulosten yleistettävyydessä sekä selitysvoimassa, vaikka sen luotettavuutta ei aina pystytä todistamaan tilastollisesti merkittäväksi. (Edelson, 2002)

Kehittämistutkimuksen vahvuutena on mahdollisuus hyödyntää kvantitatiivisia ja kvalitatiivisia tutkimusmenetelmiä samanaikaisesti, jolloin puhutaan monimenetelmäisestä tutkimuksesta. Monimenetelmäisen tutkimuksen vahvuutena on laadullisten havaintojen tukeminen määrällisten mittauksen avulla, jolloin tutkittavasta ilmiöstä saadaan kokonaisvaltaisempi kuva ja tutkimuksen luotettavuus paranee tulosten konvergoitumisen myötä (triangulaatio). Tämä antaa mahdollisuuden tehdä laajempia yleistyksiä, mutta menetelmän haasteena on tutkimusresurssien kasvu. Tutkimus vie enemmän aikaa, ja tutkijan on hallittava useampi menetelmä. Tutkimus voidaan myös suorittaa yhteisöllisesti, mikä taas asettaa lisähaasteita koordinoinnille. (Johnson & Onwuegbuzie, 2004)

Edelsonin (2002) kehittämistutkimuksen yleistettävyys ja selitysvoima ovat sen käytännöllisyydessä. Se tuottaa käytännönläheistä kentälle siirrettävää tietoa jokaisessa vaiheessa. Tutkijat, kehittäjät ja muut sidosryhmät syventyvät kehittämisprosessin aikana tutkimuksen prosesseihin, tarpeisiin ja kontekstiin kehittäen samalla omaa osaamistaan kokonaisvaltaisesti. Kehittämistuotokset ovat toimivia ja pragmaattisesta näkökulmasta

hyödyllisiä, sillä ne kehitetään tiettyyn tarpeeseen autenttisissa olosuhteissa. (Edelson, 2002, Juuti & Lavonen, 2006; Tuomi & Sarajärvi, 2009, 134-136) Barabin ja Squiren (2004) mukaan luotettavan kehittämistutkimuksen perusedellytys on tuottaa toimivia ratkaisuja paikallisella tasolla, vasta sen jälkeen ne voidaan siirtää suuremman mittakaavan käytäntöihin.

Kuten yllä mainittiin, kehittämistutkimuksen luotettavuutta voidaan vahvistaa triangulaation avulla. Tässä tutkimuksessa käytetään sekä metodista että aineistoon kohdistuvaa triangulaatiota. Metodisessa triangulaatiossa aineistoa analysoidaan samanaikaisesti sekä laadullisilla että määrällisillä (esim. tässä tutkimuksessa laadullisten luokkien kvantifointi). Metodisessa triangulaatiossa luotettavuustarkastelu suoritetaan käytettyjen menetelmien luotettavuustekijöiden perusteella (ks. luku 4). Aineistoon kohdistuvassa triangulaatiossa samaa asiaa pyritään tutkimaan erilaisten aineistojen avulla (esim. tässä tutkimuksessa kysely, havainnointi, kehittämistuotos ja kehittämiskuvaus) (ks. Tuomi & Sarajärvi, 2009, 143-149). Tutkimuksen luotettavuutta parantavat myös syklien ja testaamisen määrät sekä standardoitujen mittarien käyttö. Lisäksi luotettavuuteen vaikuttaa merkittävästi yhteisymmärrykseen johtavan kehittämisen tarkka dokumentointi ja raportointi (Design-Based Research Collective, 2003; Bell et al. 2004; Edelson, 2002).

Kehittämistutkimuksen luotettavuutta tarkastellessa tulee ottaa huomioon myös tutkimusmenetelmän lyhyt ikä, minkä vuoksi vahvaa tutkimusperinnettä ei ole ehtinyt syntyä (Barab & Squire, 2004). Tästä syystä kehittämistutkimukseen liittyy useita ratkaisemattomia kysymyksiä, kuten esimerkiksi:

- Mihin epistemologiaan kehittämistutkimus pohjautuu?
- Miten kvantitatiiviset ja kvalitatiiviset tutkimusmenetelmät sovitetaan mielekkäästi yhteen?
- Miten löydetään tasapaino käytännön ja teorian välillä? (Wang & Hannafin, 2004)
- Miten kehittämisessä määritellään yhteisymmärryksen taso? (Dede, 2004; Tuomi & Sarajärvi, 2009, 134-136)
- Miten vältytään tutkijan vaikutukselta tutkimusten aikana ja raporteissa?
- Miten yksittäisistä tutkimuksista saadut tulokset saadaan siirrettyä laajempaan käyttöön? (Barab & Squire, 2004)

2.4 Kehittämistutkimuksen rooli tässä tutkimuksessa

Väitöskirjan kehittämistutkimusprojekti koostuu kolmesta kehittämistutkimuksesta (ks. luvut 5.1-5.3), joita tarkastellaan erilaisten kehittäjäryhmien perusteella erillisinä tapaustutkimuksina. Kehittämistutkimus on siis samanaikaisesti osa tutkimuksen teoreettista viitekehystä ja kolme tapaustutkimusta yhdistävä tutkimusmenetelmä.

Luvun 5.1 tapauksessa painotus oli kehittämistuotoksessa, mutta tutkimuksessa keskityttiin myös ongelma-analyysin ja kehittämisprosessin tarkasteluun. Luvussa 5.1

esitetään koko tutkimuksen kokoava kehittämiskuvaus, mutta siitä on raportoitu osioita myös erillisinä julkaisuina (Pernaa, 2008; Pernaa & Aksela, 2008a-b; Pernaa, 2010; Pernaa & Aksela, 2011)

Luvun 5.2 tapaus koostuu kahdesta vaiheesta, joista ensimmäisen tutkimuskohteina olivat kehittämistuotos sekä uusi kehittämistutkimuksen toteuttamismalli (Pernaa, Aksela & Västinsalo, 2010). Toisen vaiheen tutkimuskohteena oli tuotoksen ja kehitetyn prosessin arvioiminen (Vesterinen, Pernaa & Aksela, 2011). Luvussa 5.2 esitetään tapauksen II vaiheet 1 ja 2 yhdistävä kehittämiskuvaus.

Luvun 5.3 tapauksessa kehittämistutkimusta tarkastellaan kokonaisvaltaisesti. Tutkimus koostuu pilottivaiheesta ja varsinaisesta tutkimuksesta. Pilottitapauksen tutkimuskohteena olivat kehittämistuotokset ja niiden avulla suoritettu ongelma-analyysi (Pernaa & Aksela, 2009). Varsinaisen tapaustutkimuksen kohteena olivat kehittämisprosessi ja ongelma-analyysi. Luvussa 5.3 pyritään edellisen tapauksen tapaan luomaan vaiheet 1 ja 2 yhdistävä kehittämiskuvaus.

3 Tieto- ja viestintätekniikka kemian opetuksessa

Tässä luvussa esitellään suoritettujen tapaustutkimusten (ks. luvut 5.1-5.3) TVT-kehittämiskontekstien teoreettinen viitekehys. Kehittämistutkimuksessa kehittäminen pohjautuu aikaisemman tutkimustiedon pohjalta tehtyihin teoreettisiin ongelma-analyysihin (Edelson, 2002), joiden pohjana tässä tutkimuksessa toimivat ajattelua ja toimintaa ohjaavat teoriat (ks. luvut 3.1 ja 3.3) tai oppiainekohtaiset teoriat (ks. luku 3.2) (vrt. diSessa & Cobb 2004).

Kehittäjien ajattelua ja toimintaa on pyritty ohjaamaan siten, että kehittäminen kohdistuu mielekkään kemianoppimisen tukemiseen (ks. luku 3.1) TVT-pohjaisten kemian oppimisympäristöjen avulla (ks. luku 3.2). Kehittämisessä on otettu huomioon myös TVT:n hyödyntämiseen liittyvän koulutuksen (ks. luku 3.3) pohjalta nostetut mahdollisuudet ja haasteet (ks. luku 3.3.2 Innovaation diffuusio, (vrt. Rogers, 1962, 1995)).

3.1 Mielekäs kemian oppiminen

Mielekkään oppimisen ymmärtämiseksi on tärkeää tarkastella kemiaa tieteenalana monipuolisesti. Kemian opetuksessa keskeistä on tieto kemiaa koskevan tiedon kompleksisesta rakentumisesta ja kehittämisestä (ks. tarkemmin luku 3.1.3), minkä vuoksi opetuksessa täytyy ottaa huomioon myös kemian historialliset ja filosofiset näkökulmat (Erduran, 2001; Erduran & Scerri, 2002). Myös kemian tutkimuksen sosiaalinen näkökulma on tärkeä. Tiedettä ei tehdä yksin vaan ryhmässä. Kemian tutkimusryhmät koostuvat eri alojen asiantuntijoista. Ryhmässä vuorovaikutus on monipuolista ja ryhmän tuottaman tiedon prosessoimiseen osallistuvat useat ryhmän jäsenet. Ryhmän jäsenten välisellä vuorovaikutuksella on suuri vaikutus ryhmän luovuuteen ja tuottavuuteen. Ryhmä taas on poikkitieteellisesti sidoksissa muiden alojen, kuten esimerkiksi informaatioteknologian, tekniikan tai muiden luonnontieteiden, asiantuntijaryhmiin. (Esim. Vesterinen & Aksela, 2009)

Mielekäs kemian oppiminen on siis hyvin laaja kokonaisuus. Tässä tutkimuksessa sen tarkastelu rajataan aikaisemman tutkimuskirjallisuuden ja kehittämiskohteiden perusteella mielekkään oppimisen teorian (ks. luku 3.1.1), kognitiivisten prosessien (ks. luku 3.1.2), kemian mallien ja visualisoinnin (ks. luku 3.1.3), kokeellisuuden (ks. luku 3.1.4), kontekstuaalisuuden (ks. luku 3.1.5) ja tutkimusperustaisen kemianopetuksen (ks. luku 3.1.6) tarkasteluun. Teoreettisessa ongelma-analyysissä ei ole käsitelty kemian historian ja filosofian näkökulmaa, sillä ne eivät olleet suoritettujen tutkimusten kehittäminen ei kohdistunut niihin.

3.1.1 Mielekkään oppimisen teoria

Mielekkään oppimisen teorian (*engl. theory of meaningful learning*) esitteli David Ausubel 1960-luvulla (Ausubel, 1968). Tässä luvussa mielekkään oppimisen teoriaa käsitellään Novakin (1998) teoksen pohjalta, jossa hän yhdistää mielekkään oppimisen teorian ja tieto-opin ydinkohdat (ks. kuva 3.1.1). (Novak, 1998, 64-97)

Selitettäessä mielekkään oppimisen teorian avulla ihmisen oppimista oppiminen jaetaan karkeasti mielekkääseen oppimiseen ja ulkoa oppimiseen. Itse oppiminen koostuu affektiivisista, kognitiivisista ja toiminnallisista tekijöistä, joiden positiivisen eheytyksen myötä tapahtuu mielekästä oppimista. Ihmisen oppiminen on myös tieto-opin perusta, joka käsittelee tiedon rakenteeseen ja tuottamiseen liittyviä asioita. Tieto-opissa tiedon tuottaminen voidaan kuvata konstruktivistiseksi tapahtumaksi, joka johtaa yksilölliseen kognitiiviseen rakenteeseen. (Novak, 1998, 67) Mielekäs oppiminen koostuu kuudesta pääperiaatteesta:

i. Käsitehierarkian muodostuminen

Ausubelin mielekkään oppimisen teoriassa havainnoista muodostetaan ensin alkeellinen käsiteverkosto. Käsiteverkostoa laajennetaan assimiloimalla siihen uutta tietoa siten, että uuden ja vanhan tiedon välinen suhde on merkityksellinen. (Novak, 1998, 66-71)

ii. Yläkäsitteiden oppiminen

Selittäessään assimilointi-ilmiön mekanismeja Ausubel (1968) esitteli käsitteen yläkäsite. Yläkäsite tarjoaa uuden tiedon assimiloimista helpottavan perustan. Sen rooli on vuorovaikutteinen, sillä uuden tiedon liittyessä yläkäsitteeseen myös yläkäsitteessä tapahtuu muutosta. Yläkäsitteen merkitys käsiterakenteessa saattaa esimerkiksi tarkentua prosessin aikana. (Novak, 1998, 73-74)

iii. Muistista poispyyhkiytymiseen johtava käsitteiden yhdistyminen

Ulkoaoppiminen koetaan mielekkään oppimisen teoriassa unohtamiselle alttiiksi tapahtumaksi, joka johtaa voimaantumisen tunteen vähenemiseen. Ulkoaopittu tieto säilyy muistissa noin kaksi kuukautta ja estää uuden samankaltaisen tiedon oppimista. Mielekkäästi opittu tieto säilyy muistissa useita kuukausia ja edistää uuden tiedon liittämistä jo olemassa olevaan kognitiiviseen rakenteeseen. Vaikka mielekkäästi opitun tiedon mieleen palauttaminen ei onnistuisi, muistista poispyyhkiytyneellä tiedolla on uuden tiedon omaksumista tukeva jäännösvaikutus jo olemassa oleviin käsiterakenteisiin. Mielekkään oppimisen tärkein etu ulkoa oppimiseen verrattuna on kuitenkin opitun tiedon siirrettävyys. Mielekkäästi opittua tietoa voidaan hyödyntää luovasti erilaisissa tilanteissa, mikä edistää myös voimaantumisen tunteen kasvua. (Novak, 1998, 67-78)

iv. Edistyvä eriytyminen

Mielekkäässä oppimisessa opittujen käsitteiden merkitys yksilön kognitiivisessa rakenteessa selkeytyy ja tarkentuu. Ilmiötä kutsutaan edistyväksi eriytymiseksi. Edistyvän eriytymisen myötä kognitiivisessa käsiterakenteessa tapahtuu sekä laadullisia että määrällisiä muutoksia. (Novak, 1998, 78-80)

v. Eheytyvä yhdistäminen

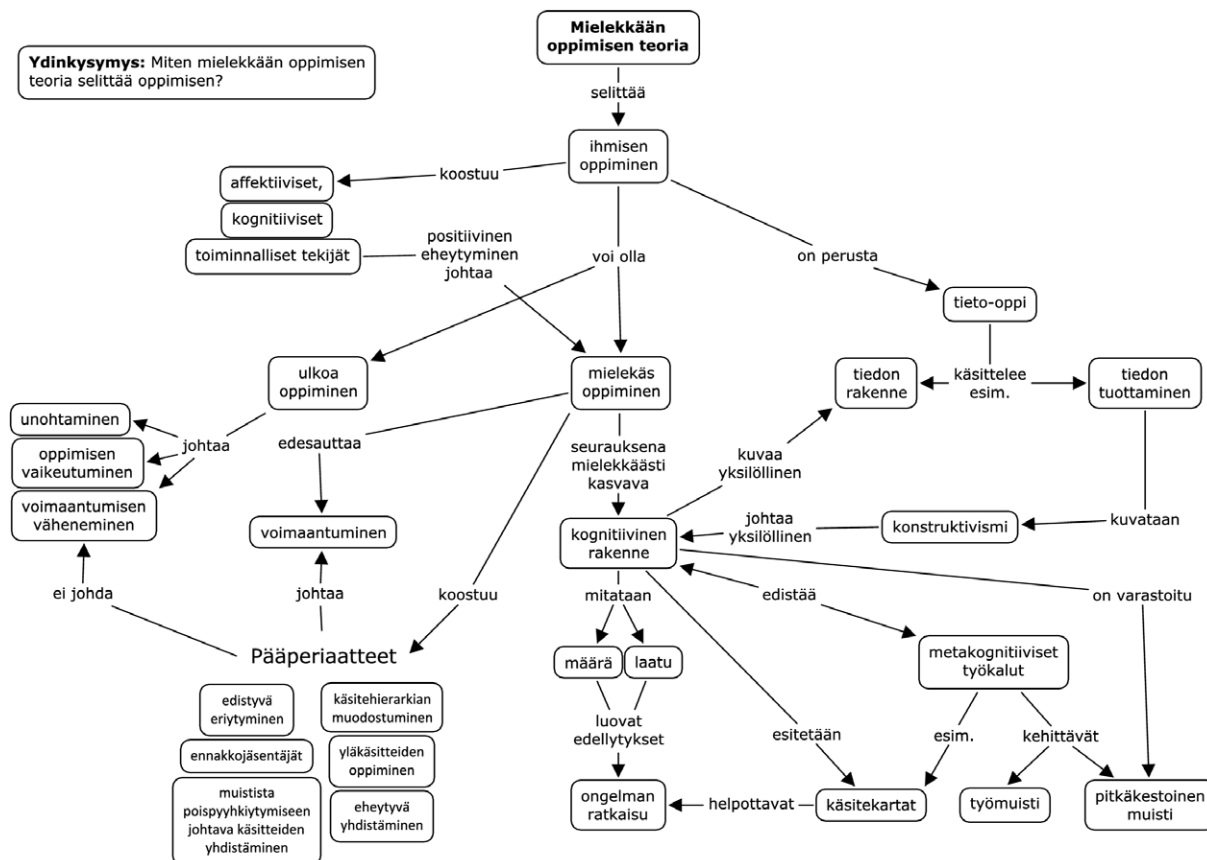
Eheytyvä yhdistäminen on yksi mielekkään oppimisen positiivisen eheytyksen muoto, joka kohdistuu käsitteiden välisten ristilinkkien laadulliseen ja määrälliseen kehittymiseen. (Novak, 1998, 81-85)

vi. Ennakkojäsentäjät

Mielekkään oppimisen teoriassa yksi tärkeimmistä oletuksista on, että tietoa tulee esitellä oppijalle vain pieni osa kerrallaan. Tätä pientä tieto-osaa kutsutaan ennakkojäsentäjäksi. Ennakkojäsentäjän tavoitteena on tarjota oppijalle aineistosta yleisen tason kuvaus, joka helpottaa uuden tiedon liittämistä vanhaan tietorakenteeseen. Tehokasta ennakkojäsentäjää koskee kaksi vaatimusta: 1) ennakkojäsentäjän tulee sisältää oppijalle ennestään tuttua tietoa ja 2) uusi tieto tulee esittää oppijalle mielekkäällä tavalla. (Novak, 1998, 88-89)

Esimerkkejä tehokkaista ennakkojäsentäjistä ovat esimerkiksi käsitekartat ja vee-diagrammit. Käsitekartat ovat graafisia tiedon visualisointityökaluja, jotka soveltuvat esimerkiksi yksilön kognitiivisen rakenteen mallintamiseen (Novak, 1998, 67; käsitekartoista tarkemmin luvussa 3.2.2). Vee-diagrammi on heuristinen opiskelijan metakognitiivisia taitoja kehittävä ajattelutyökalu. Vee-diagrammit kehitettiin 1970-luvun lopulla tukemaan luonnontieteelliseen laboratoriotyöskentelyyn liittyvää ongelmanratkaisua. (Novak & Govin, 1984)

Näiden kuuden peruseriaatteen pohjalta toteutettu mielekäs oppiminen johtaa pitkäkestoiseen muistiin varastoidun kognitiivisen rakenteen laadulliseen ja määrälliseen kehittymiseen. Tämä vaikuttaa positiivisesti luovan ongelmanratkaisukyvyyn kehittymiseen. Edistynyt kognitiivinen rakenne edistää metakognitiivisten työkalujen käyttöä, ja vastavuoroisesti metakognitiivisten työkalujen käyttö edistää yksilön kognitiivista rakennetta. Metakognitiivisilla työkaluilla tarkoitetaan pitkäkestoisen muistin ja työmuistin käyttöä tukevia ajattelutyökaluja, joita ovat esimerkiksi yllä mainitut käsitekartat ja Vee-diagrammit. (Novak, 1998, 64-97)



Kuva 3.1.1. Mielekkään oppimisen teoria (mukailtu kuviosta 5.1, Novak, 1998, 67)

Mielekkään oppimisen teoriassa keskeistä on opiskelijan, opettajan ja oppimateriaalin välinen vuorovaikutus. Mielekkään oppimisen kannalta olennaisinta oppimisen näkökulmasta on opiskelijan oma motivaatio. Opiskelija valitsee tietoisesti mielekästä oppimista tukevia opiskelutekniikoita ja haluaa oppia. Opettajalla taas on tärkeä rooli opiskelijan mielekkään oppimisen tukemisessa. Opettajalla on kokemus ja asiantuntemus ohjata opiskelija käyttämään mielekästä oppimista tukevia toimintamalleja. Opettajan tehtävänä on rohkaista ja ylläpitää opiskelijan motivaatiota mielekästä oppimista kohtaan sekä hyödyntää korkeamman tason kognitiivisia prosesseja stimuloivia oppimisympäristöjä. Opettaja voi esimerkiksi helposti tuhota opiskelijan mielekkään oppimisen motivaation käyttämällä arviointimenetelmää, joka ei tue luovaa mielekästä oppimista vaan asioiden nopeaa ulkolukua ja sanatarkkaa toistamista tenttitilaisuuksissa. (Novak, 1998, 68-73)

Tässä tutkimuksessa mielekkään oppimisen teoriaa hyödynnetään kehitettävien oppimisympäristöjen oppimistavoitteiden määrittelyssä. Lisäksi tutkimuksessa hyödynnetään mielekästä oppimista tukevia ennakkojäsentäjiä (käsitekarttoja) tiedon ja kehittämisprosessien visualisoinnissa.

3.1.2 Kognitiiviset prosessit kemian opetuksessa

Korkeamman tason kognitiivisten prosessien tukeminen on yksi keskeisistä kemian opetuksen tavoitteista ja tavoista tukea elinikäistä tutkimusperustaista kemian oppimista (Aksela, 2005; Aksela, 2010). Tämän tavoitteen tukemiseksi täytyy kehittää tarkoitukseen soveltuvia oppimisympäristöjä. Tässä tutkimuksessa kehittämistutkimuksia ohjataan kognitiivisten prosessien avulla. Niitä käytetään kehitettyjen oppimisympäristöjen tavoitteiden määrittelyssä ja vaikutusten arvioinnissa.

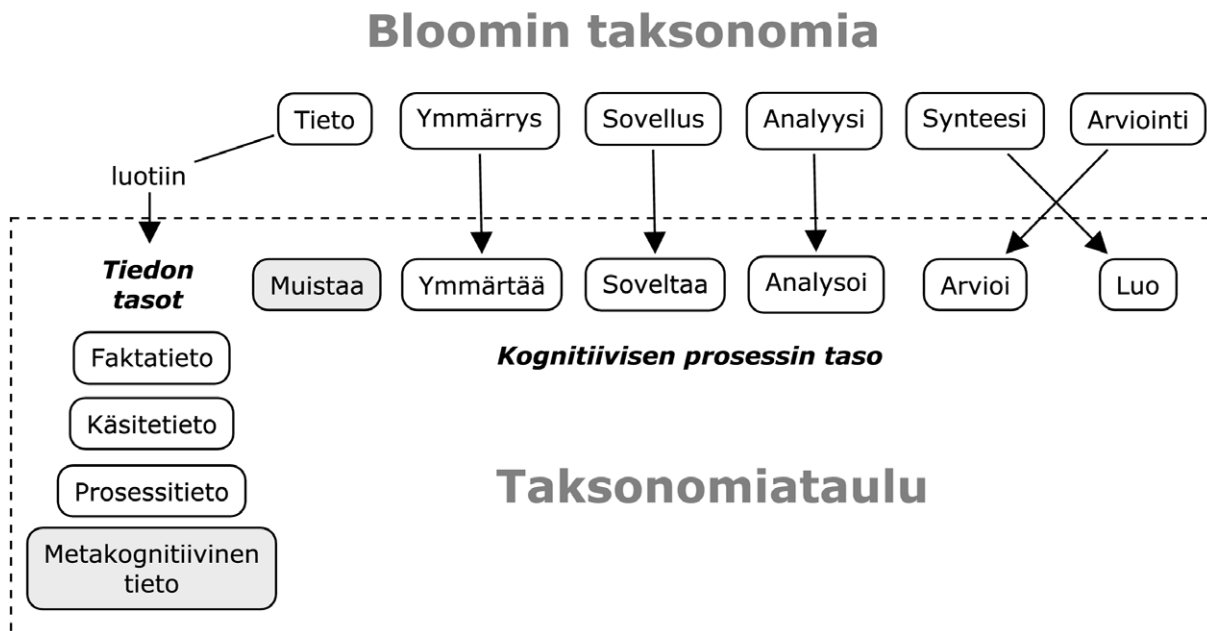
Opetustavoitteiden luokittelu on malli, joka ohjaa opetusalaan tavoitteellisen opetuksen kehittämisessä. Malli on peräisin yhdysvaltalaisesta hankkeesta, jossa samaa opetustavoitetta mittaavia mittareita kerättiin yhteen tietokantaan. Joukko mittaamiseen erikoistuneita asiantuntijoita muodosti tietokannan mittareista yhtenäisen opetustavoitteita ohjaavan mallin. Tämä malli julkaistiin vuonna 1956 nimellä Bloomin taksonomia. Bloomin taksonomian tavoitteena oli yhtenäistää opetustavoitteiden suunnittelun ja arvioinnin toimintatavat kaikilla opetusasteilla. Malli soveltui sekä yksilöiden ja kurssien että organisaatioiden ja opetussuunnitelmien opetustavoitteiden ja arvioinnin suunnitteluun. (Bloom, Engelhart, Furst, Hill & Krathwohl, 1956; Krathwohl, 2002)

Bloomin taksonomia sisältää kolme pääosa-alueita: affektiiviset, motoriset ja kognitiiviset seikat. Tässä tutkimuksessa otetaan huomioon vain taksonomian kognitiivinen osa-alue. Bloomin taksonomiassa kognitiivinen osa-alue on jaettu konkreettisuuden ja abstraktisuuden mukaan kuuteen pääluokkaan: 1) tieto, 2) ymmärrys, 3) sovellus, 4) analyysi, 5) synteesi ja 6) arviointi. Nämä jaetaan vielä 14 alaluokkaan. (Bloom et al. 1956)

Bloomin taksonomia oli käytetyin opetustavoitteiden luokittelumenetelmä noin 45 vuoden ajan, minkä jälkeen julkistettiin uudistettu versio Bloomin taksonomiasta. Uudistettu taksonomia nimettiin taksonomiatauluksi (*engl. taxonomy table*). Anderson ja Krathwohl et al. (2001) Taksonomiataulu eroaa merkittävästi alkuperäisestä Bloomin taksonomiasta:

- Alkuperäinen Bloomin taksonomia on yksiulotteinen, uudistettu taksonomia on kaksiulotteinen. Taksonomiataulun toinen ulottuvuus muodostettiin Bloomin taksonomian ensimmäisestä tasosta. Bloomin taksonomiassa tieto-pääloukka sisälsi alaluokat faktatieto, käsitetieto ja prosessitieto. 45 vuoden aikana oppimispsykologia kehittyi, minkä johdosta taksonomiataulussa tieto-pääloukkaan lisättiin uusi alaluokka, metakognitiivinen tieto. Toisen ulottuvuuden avulla määritetään, millä tiedon tasolla oppimista käsitellään (ks. kuva 3.1.2 ja taulukko 3.1.2a).
- Taksonomiataulussa pääloukat on tavoitteiden asettamisen tukemiseksi nimetty verbimuotoon, kun ne Bloomin taksonomiassa ovat substantiivimuodossa.
- Taksonomiataulussa luokkia kutsutaan kognitiivisiksi prosesseiksi ja alaluokkien määrää nostettiin 19 kappaleeseen (ks. taulukko 3.1.2b).

- Taksonomiataulussa arviointi- ja synteesi-pääluokat ovat vaihtaneet paikkaa ja synteesi-pääluokka on nimetty uudelleen. Synteesi-luokan uudeksi nimeksi tuli luo. Lisäksi taksonomiatauluun tehtiin poistuneen tieto-pääluokan tilalle uusi muistaa-pääluokka. Taksonomiataulun uudistetut pääluokat ovat 1) muistaa, 2) ymmärtää, 3) soveltaa, 4) analysoi, 5) arvioi ja 6) luo. (Krathwohl, 2002)



Kuva 3.1.2. Bloomin taksonomian kehittyminen taksonomiatauluksi
(Anderson & Krathwohl et al. 2001)

Faktatieto on oppiaineelle ominaista perustietoa, jota tarvitaan monipuolisemman kognitiivisen rakenteen kehittymiseen (Krathwohl, 2002). Kemian opetuksessa faktatietoa ovat esimerkiksi terminologia, kemialliset symbolit ja alkuaineet. Mielekkään oppimisen tuloksena faktatiedot yhdistyvät käsitteverkostoksi, jossa faktojen välillä on mielekäs yhteys (Novak, 1998). Käsitetietoon sisältyvät yleistyksset, teoriat, mallit, luokittelut ja rakenteet (Krathwohl, 2002). Kemian opetuksessa tällaista tietoa ovat esimerkiksi jaksollinen järjestelmä, termodynamiikan pääsäännöt tai atomimallin historiallinen kehittyminen.

Prosessitietoa ovat oppiainekohtaiset taidot ja algoritmit sekä tekniikat ja menetelmät. Prosessitietoon sisältyy myös tietoa kriteereistä, joiden avulla tarkoituksiin soveltuva menetelmä valitaan. (Krathwohl, 2002) Kemian opetuksessa oppiainekohtainen taito tai algoritmi on esimerkiksi laboratoriotekniikan suorittaminen, kun taas tieto tekniikoista ja menetelmistä sisältää myös soveltuvan menetelmän valitsemisen. Tietoa menetelmän valintaan vaikuttavista kriteereistä on esimerkiksi oikean tyyppisen tislusmenetelmän valitseminen kiehumispisteen mukaan.

Metakognitiivista tietoa ovat tehtävän suorittamiseen liittyvä strateginen tieto, tehtävään

liittyvä kontekstuaalinen ja konditionaalinen tieto sekä itsetuntemus (Krathwohl, 2002). Kemian opetuksessa strategista tietoa on muun muassa laboratorioharjoitukseen liittyvä työturvallisuus. Kontekstuaalista ja konditionaalista tietoa ovat muun muassa opiskelijaa motivoivat seikat kemian kokeellisuudessa ja itsetuntemus omien vahvuuksien ja kehittämisalueiden tunnistamista.

Taulukko 3.1.2a. Taksonomiataulun tiedon tasot, alaluokat ja esimerkki kemian opetuksesta (Krathwohl, 2002)

Tiedon taso	Alaluokka	Esimerkki kemian opetuksesta
Faktatieto	Tietoa terminologiasta	Kemian symbolit ja merkkikieli
	Tietoa yksityiskohdista ja keskeisistä periaatteista	Kemian innovaatio ja aikakausi
Käsitetieto	Tietoa luokittelusta	Jaksollinen järjestelmä
	Tietoa periaatteista ja yleistyksistä	Yleinen kaasulaki
	Tietoa teorioista, malleista ja rakenteista	Happo-emäs -käsiteparin historiallinen kehittyminen
Prosessitieto	Tietoa oppiainekohtaisista taidoista ja algoritmeista	Laboratoriotekniikan tekninen suorittaminen
	Tietoa oppiainekohtaisista tekniikoista ja metodeista	Rasvaliukoisten pigmenttien eristäminen vesiliukoisista pigmenteistä
	Tietoa menetelmien käyttökriteereistä	Menetelmä, jolla erotetaan 153°:n ja 173°:n kiehumispisteen omaavat aineet
Metakognitiivinen tieto	Strategista tietoa tehtävästä tai toiminnasta	Työturvallisuus kokeellisessa työssä
	Kontekstuaalista ja konditionaalista tietoa kognitiivisista tehtävistä	Tietoa opiskelijoista motivoivista seikoista kemian laboratoriotyöskentelyssä
	Itsetuntemus	Omien vahvuuksien ja heikkouksien tunnistaminen

Taksonomiataulun kognitiiviset prosessit on järjestetty hierarkkisesti vähemmän vaativista prosesseista kohti vaativampia. Taksonomiataulussa hierarkkisuus ei kuitenkaan ole yhtä vahvasti esillä kuin Bloomin taksonomiassa. Pääluokkien oletetaan olevan jonkin verran päällekkäin, tai aina ei edes tarvita kaikkien pääluokkien hallintaa ylemmän tason toiminnan saavuttamiseksi (esim. muistaa → soveltaa) (ks. taulukko 3.1.2b). (Krathwohl, 2002.)

Ensimmäisessä pääluokassa oleellinen tieto tunnustetaan ja palautetaan pitkäkestoisesta muistista työmuistin käyttöön. Muistaa-pääluokka sisältää kaksi alaluokkaa, tunnistaa (1) ja palauttaa mieleen (2). (Krathwohl, 2002) Kemian opetuksessa muistamista on esimerkiksi kemian symbolin tunnistaminen, jonka avulla palautetaan mieleen jokin alkuaineen kemiaan liittyvä seikka.

Ymmärtää-pääluokka sisältää seitsemän alaluokkaa. Ymmärtää-luokan kognitiivisissa

prosesseissa oppija esimerkiksi tulkitsee kemiaan liittyviä malleja kirjallisen tai suullisen kuvauksen perusteella (3), antaa esimerkkejä tietyntyyppisistä kemiaan liittyvistä malleista (4), luokittelee tietoa kemiallisen rakenteen mukaan (5), tekee yhteenvedon kirjallisuudesta tai suullisesta esityksestä (6), päättelee molekyylin ominaisuuksia funktionaalisten ryhmien perusteella (7), vertaa erilaisten laskutasojen ominaisuuksia (8) tai perustelee kemiallisia ominaisuuksia mallien avulla (9). (Krathwohl, 2002)

Soveltaa-pääluokan kognitiivisissa prosesseissa suoritetaan tietty laboratoriotekniikka (10) tai sitä käytetään tiettyyn tarkoitukseen (11). Analysoida-pääluokan alaluokat sisältävät tiedon erottelamista, jossa tunnistetaan tehtävän kannalta olennaiset asiat (12), organisoidaan tietoa siihen liittyvän merkityksen tai toiminnan mukaan (13) ja tunnistetaan piilomerkityksiä (14). Piilomerkitysten tunnistamista on esimerkiksi kirjoittajan asenteiden tunnistaminen tai eri sovelluksilla tehtyjen molekyylimallien graafisen ilmaisun tason analysoiminen. (Krathwohl, 2002)

Arviointi-pääluokka sisältää kaksi alaluokkaa. Arviointitasolla esimerkiksi tarkistetaan, vastaako prosessien tai tuotteiden laatu määritellyjä laatukriteereitä (15), tai esitetään kritiikkiä ja arvioidaan jonkin prosessin vahvuus- ja heikkousalueita (16). Kognitiivisesti vaativimmalla tasolla luodaan uutta tietoa. Tämä ilmenee kehittämisenä, jolloin esitetään uusia teoriaan pohjautuvia oletuksia (17), tai suunnitteluna, esimerkiksi laboratoriokokeiden suunnittelu (18) tai tuottaminen, esimerkiksi uusien innovaatioiden keksiminen (19). (Krathwohl, 2002) Krathwohlin (2002) mukaan laadukas opetus voi sisältää useita tiedon tason ja kognitiivisten prosessien tavoitteita, mutta yleisesti oletetaan, että oppimistavoitteiden tulisi olla vähintään käsitteellisen ymmärtämisen tasolla.

Opetustavoitteiden taksonomioita käytetään kemian opetuksen tutkimuksessa laajasti. Esimerkiksi Bloomin et al. alkuperäisjulkaisuun vuodelta 1956 on viitattu paljon, ja teos on käännetty 22 kielelle (Krathwohl, 2002). Taksonomioiden käyttö näkyy myös kotimaisessa kemian opetuksen tutkimuksessa. Esimerkiksi Tikkanen (2010) käytti taksonomiataulua ylioppilastehtävien luokitteluvälineenä, Aksela (2005) oppimisympäristöjen tavoitteiden määrittelyn tukena ja Pernaa & Aksela (2010) opiskelijoiden tekemien käsitekarttojen arviointityökaluna.

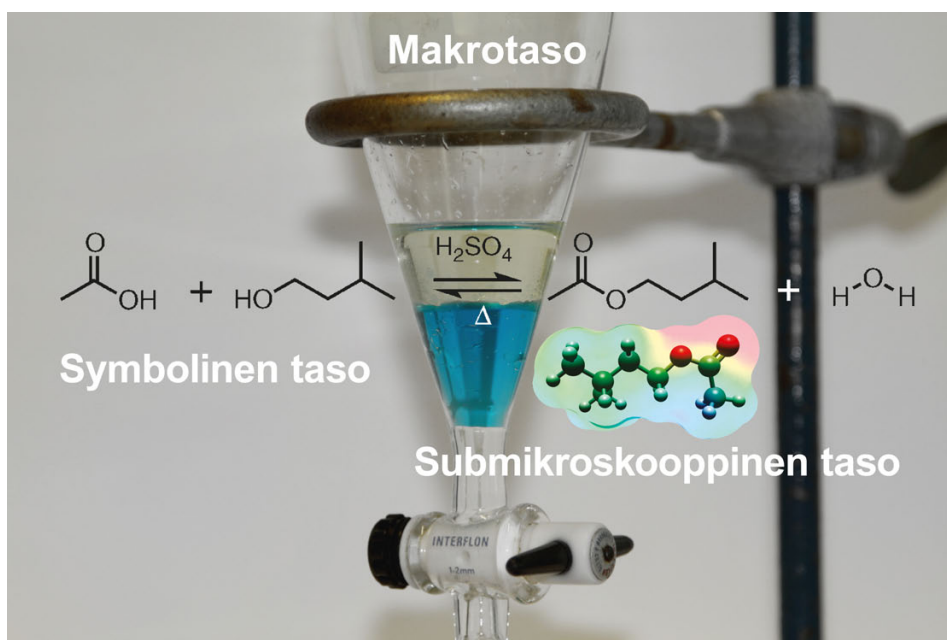
Taulukko 3.1.2b. Kognitiivisten prosessien uudistetut yläluokat ja alaluokat (Anderson & Krathwohl et al. 2001)

Tiedon taso	Alaluokka	Esimerkki kemian opetuksesta
Muistaa	Tunnistaa (1)	Kemiaan liittyvän symbolin tunnistaminen
	Palauttaa mieleen (2)	Alkuaineen kemiaan liittyvän seikan mieleen palauttaminen
Ymmärtää	Tulkitsee (3)	Mallin piirtäminen kirjallisuuden perusteella
	Antaa esimerkin (4)	Esimerkin antaminen esim. tietyn-tyyppisestä mallista
	Luokittelee (5)	Mallien luokittelu rakenteen mukaan
	Kokoaa (6)	Tiivistelmän kirjoittaminen
	Päättelee (7)	Molekyylin ominaisuuksien päättely funktionaalisten ryhmien perusteella
	Vertaa (8)	Erialaisten laskutasojen ominaisuuksien vertailu
	Perustelee (9)	Reaktiivisuuden perustelu mallien avulla
Soveltaa	Toteuttaa (10)	Laboratoriotyöskentely
	Käyttää (11)	Laboratoriotekniikan käyttäminen tiettyyn tarkoitukseen
Analysoi	Erotelee (12)	Olellaisen tiedon tunnistaminen
	Organisoi (13)	Rakenteen ja toiminnan välisten yhteyksien analysointi
	Tunnistaa piilomerkityksiä (14)	Eri sovelluksilla tehtyjen mallien graafisen ilmaisun tason tunnistaminen
Arvioi	Tarkistaa (15)	Prosessien tai tuotteiden laadun tarkistaminen
	Esittää kritiikkiä ja arvioi (16)	Vahvuuksien arviointi ja kehittämisalueiden esittäminen
Luo	Kehittää (17)	Teoriaan pohjautuvien oletuksien esittäminen
	Suunnittelee (18)	Laboratoriossa tehtävän toimenpiteen suunnitteleminen
	Tuottaa (19)	Uuden innovaation keksiminen

3.1.3 Mallit ja visualisointi kemian opetuksessa

Kemiaan liittyvät ilmiöt ovat opiskelijoiden mielestä vaikeita ymmärtää, ja kemia koetaan usein haastavaksi oppiaineeksi. Tämä on seurausta kemiaa käsittelevän tiedon kompleksisesta luonteesta (esim. Gabel, 1999). Kemiassa tietoa esitetään kolmella eri tasolla: makrotasolla, symbolisella tasolla ja submikrotasolla. Makrotasolla tarkoitetaan näkyvää maailmaa, symbolisella tasolla esimerkiksi kemiaan liittyviä symboleita ja submikrotasolla asioita, joita

ei voi mikroskoopilla havaita, esimerkiksi elektronien jakautuminen molekyylissä (ks. kuva 3.1.3a). (Johnstone, 1993)



Kuva 3.1.3a. Kemian kolme tasoa

Kemian asiantuntijat (opettajat) käyttävät ajattelussaan ja puheessaan intuitiivisesti jokaista tasoa. Näköhavaintojen ajattelemisen submikrotasolla ja ongelmien ratkominen symbolien välityksellä käyvät automaattisesti. Novisille (opiskelija) taas vastaavanlainen ongelmanratkaisu ja ilmiöiden monipuolinen käsittely on haastavaa. Tästä syystä on välttämätöntä kehittää korkealaatuisia visualisointeja. (Johnstone, 1993)

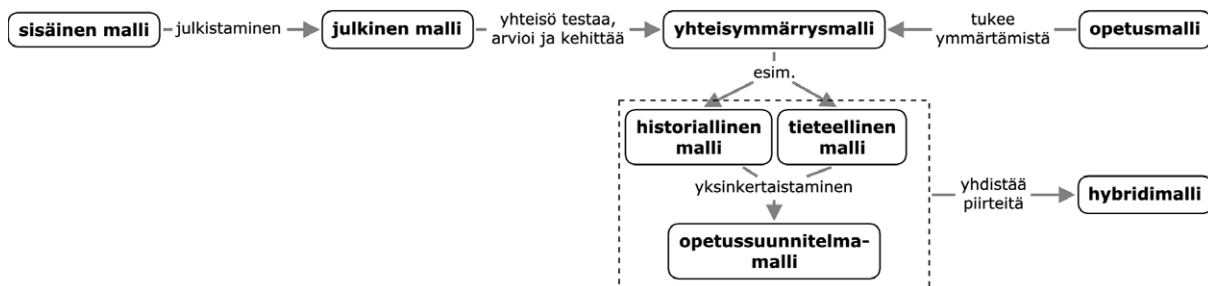
Visualisaatiot, esimerkiksi eleet, kuvat, kuviot, kartat, animaatiot, simulaatiot tai symbolit, ovat olennainen tekijä opetuksessa, opiskelussa ja opitun ymmärtämisessä. Ne ovat kognitiivisia työkaluja, joiden avulla yhteisöt ja kulttuurit viestivät ja esittävät tietoa. (Tversky, 2005) Kemiassa tietoa visualisoidaan muun muassa eleillä, kynällä ja paperilla, ajattelemalla ja tietokoneilla. Visualisoinnit konkretisoidaan malleilla. (Justi & Gilbert, 2002)

Käsitteellä malli tarkoitetaan jonkin ilmiön tai olion visualisointia. Mallit ja mallintaminen ovat kemiassa olennaisia työkaluja ja välttämätön työskentelytapa. Kemian malli voi olla konkreettinen (pienoismalli tai muovinen molekyylimalli), verbaalinen (kielikuva puheessa tai kirjoitettu kuvaus), matemaattinen (yleinen kaasalaki), visuaalinen (kuva tai kuvaaja) tai elemalli (esim. käden liike). (Gilbert, Boulter & Elmer, 2000) Mallien ja mallintamisen tärkeys otetaan huomioon kemian opetuksen tutkimuksessa (Justi & Gilbert, 2002) ja opetus suunnitelmissa (Opetushallitus, 2003-2004). Myös kemian opettajat pitävät mallintamista olennaisena kemian opetuksen työkaluna (ks. tarkemmin luku 3.3.3; Pernaa,

Aksela & Lundell, 2009).

Kemiassa malleja hyödynnetään jokaisessa tutkimukseen liittyvässä työvaiheessa: muodostetaan hypoteeseja, havainnoidaan ilmiön tai olion toimintaa, selitetään tutkimustuloksia tai laaditaan uusia malleihin perustuvia ennusteita. Mallit yhdistävät teoreettisen ja kokeellisen kemian visualisoimalla yhteyksiä kemiaa käsittelevän tiedon kolmen tason välillä. (Justi & Gilbert, 2002)

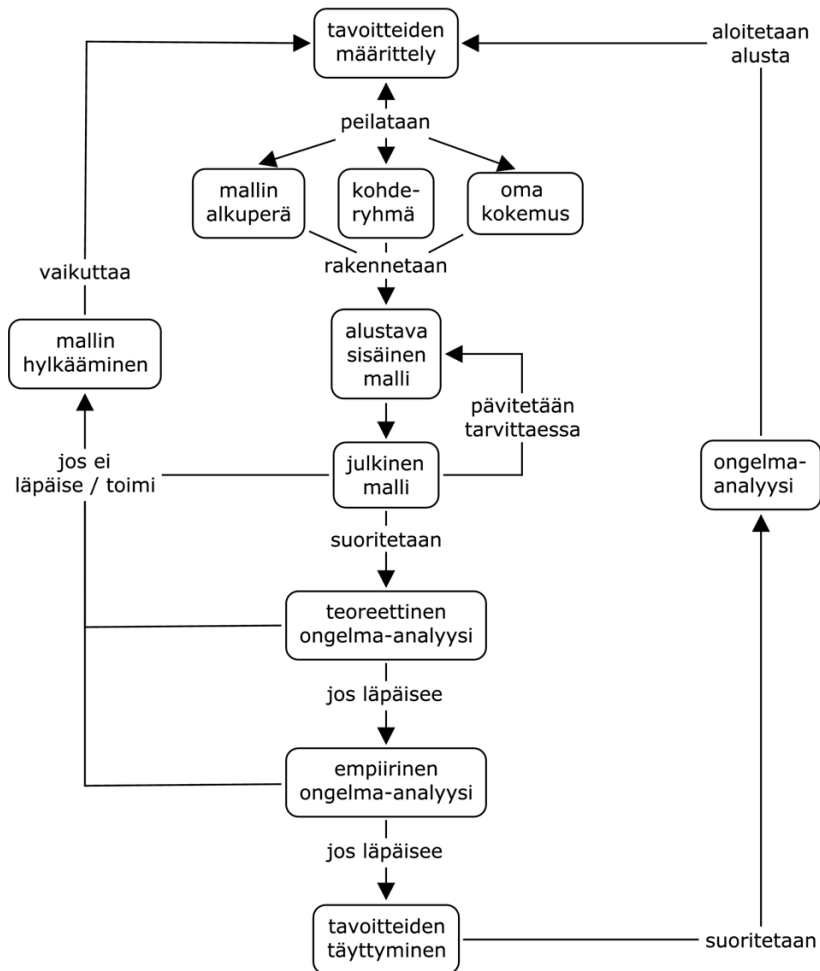
Tutkimalla mallin elinkaarta mallin ontologisen statuksen muutoksen avulla päästään käsiksi mallin kehittymiseen (ks. kuva 3.1.3b). Mallin ollessa henkilökohtainen ja yksityinen esitys jostain ilmiöstä on kyse sisäisestä mallista (mentaalimalli). Sisäinen malli muuntuu julkiseksi malliksi, kun se julkistetaan esimerkiksi jossain yhteisössä tai verkossa. Sosiaalisten yhteisöjen työstäessä julkista mallia syntyy kontekstisidonnainen yhteisymmärrysmalli (konsensusmalli). Yhteisymmärrysmalli on tietyn yhteisön yksimielinen esitys mallista, ja sen aikaansaamiseksi ryhmä on testannut, arvioinut ja kehittänyt julkista mallia. Yhteisymmärrysmalli voi konsensuksen muodostavan yhteisön ja mallin tavoitteen mukaan olla esimerkiksi tieteellinen tai historiallinen malli. Yhteisymmärrysmallista saadaan opetussuunnitelmamalli yksinkertaistamalla sitä ja sisällyttämällä se opetussuunnitelmaan. Yhteisymmärrysmallit ovat usein haastavia ymmärtää. Niiden ymmärtämisen tueksi opettajat ja opiskelijat rakentavat opetusmalleja, esimerkiksi oppimista tukevan visualisoinnin. Näiden lisäksi on olemassa pedagoginen malli, joka on opettamisen toteutusmalli, sekä hybridimalli, joka sisältää piirteitä useista yhteisymmärrysmalleista, esimerkiksi historiallisesta, tieteellisestä ja opetussuunnitelmamallista. (Gilbert et al. 2000)



Kuva 3.1.3b. Mallin ontologisen statuksen muuttuminen (Gilbert et al. 2000)

Malleja voidaan kehittää loputtomiin. Esimerkiksi Justin ja Gilbertin (2002) mukaan malleja voidaan kehittää seuraavasti: Mallintamisella on aina jokin tavoite, joka mallintajan tulee sisäistää mallintamisen ensimmäisessä vaiheessa. Tavoitteen selvittämisen jälkeen mallintaja luo alustavan sisäisen mallin. Alustava sisäinen malli luodaan refleктоimalla omia kokemuksia mallin alkuperän, tavoitteiden ja kohderyhmän tarpeiden kanssa. Alustava sisäinen malli konkretisoidaan luomalla siitä julkinen malli. Julkinen malli voi olla esimerkiksi konkreettinen, verbaalinen, visuaalinen tai matemaattinen. Julkistaminen

aiheuttaa muutosta sisäiseen malliin, ja sen muotoa voidaan päivittää. Julkista mallia testataan sekä teoreettisesti että empiirisesti. Jos malli läpäisee molemmat testikerrat ja täyttää tavoitteensa, mallinnussykli päättyy. Mallia edelleen kehitettäessä suoritetaan ongelma-analyysi ja sama sykli toistetaan (ks. kuva 3.1.3c). (Justi & Gilbert, 2002)



Kuva 3.1.3c. Mallin kehittäminen (mukaillen Justi & Gilbert, 2002)

Opiskelijat voidaan jakaa kolmelle tasolle sen perusteella, miten he ymmärtävät mallit ja pystyvät työskentelemään niillä. Ensimmäisen tason opiskelijat ajattelevat mallien edustavan todellisuuden täydellisiä kopioita tai olevan leluja. Toisen tason opiskelijat alkavat ajatella mallien olevan luotu jotain tiettyä tarkoitusta varten, mutta uskovat niiden kuitenkin vielä esittävän jossain määrin todellisuutta. Kolmannen tason opiskelijat ymmärtävät, että mallit on luotu tieteellisiksi työkaluiksi. Niitä luodaan hypoteesien testaamista varten, ja ne kehittyvät siihen muotoon, mihin mallintaja niitä muokkaa (Grosslight, Unger, Jay & Smith, 1991).

Mallien sisällyttämiselle kemian opetukseen Justi ja Gilbert (2002) ehdottavat

pedagogista mallia, jossa opettajien tulisi esitellä opiskelijoille malli käsitteenä, tunnetut kemian mallit ja niiden kehittyminen sekä erilaisten mallien mahdollisuudet ja rajoitukset. Näiden lisäksi opiskelijoille tulisi tarjota mahdollisuus kehittää ja testata omia malleja.

Gilbertin ja Justin (2002) mukaan mallit ovat tulevaisuudessa yksi tärkeimmistä kemian opetuksen tutkimusalueista. Lisää tutkimusta tarvitaan esimerkiksi siitä, miten opiskelijat ymmärtävät mallit ja rakentavat niitä sekä millaisia ovat hyvät opetusmallit. Lisäksi tarvitaan opettajien kouluttamista ja uusia pedagogisia malleja sekä oppikirjojen visualisointien uudistamista. (Justi & Gilbert, 2002)

3.1.4 Kokeellisuus kemian opetuksessa

Kokeellisuus on olennainen osa modernia kemian opetusta, ja sen katsotaan yleisesti tukevan mielekästä kemian oppimista (esim. Pernaa & Aksela, 2009). Vuonna 2008 suoritettun Kemian opetus tänään -tutkimuksen mukaan noin 98 % peruskoulun ja 89 % lukion kemian opettajista käytti kokeellisuutta kemian opetuksen tukena. Suoritettun tutkimuksen mukaan opettajat kokivat kokeellisuuden tukevan kemian oppimista konkretisoimalla ja visualisoimalla abstraktia teoriaa. Sen koettiin olevan myös olennainen osa kemiaa tieteenä, minkä taas ajateltiin motivoivan opiskelijoita. Toisaalta sen koettiin tarjoavan vaihtelua perinteiseen luokkaopetukseen. (Aksela & Karjalainen, 2008, 72-74)

Nykyään kokeellisuus on olennainen osa kemian opetusta, mutta kokeellisuuden historiaa tarkastellessa huomataan, ettei asia aina ole ollut näin. Kokeellisuus on tullut osaksi kemian opintoja vasta 1800-luvun alkupuolelta lähtien. Silloin kokeellinen työskentely suoritettiin havainnoimalla professoria, joka teki käytännön kokeet. 1800-luvulta nykypäivään mennessä kokeellisuuden merkitys kemian opinnoissa on yleisesti tunnustettu opetusalan asiantuntijoiden ja tutkijoiden keskuudessa, ja sillä on keskeinen rooli myös opetussuunnitelmissa. (Elliott, Stewart & Lagowski, 2008)

Esimerkiksi kansallisen peruskoulun opetussuunnitelmien perusteiden mukaan *”Kokeellisuuden tulee auttaa oppilasta hahmottamaan luonnontieteiden luonnetta ja omaksumaan uusia luonnontieteellisiä käsitteitä, periaatteita ja malleja, kehittää käden taitoja, kokeellisen työskentelyn ja yhteistyön taitoja sekä innostaa oppilasta kemian opiskeluun.”* (Opetushallitus, 2004) Lukion opetussuunnitelmien perusteissa kokeellisuudella on vieläkin keskeisempi rooli. Yleisosassa mainitaan muun muassa: *”Kemian opetukselle on luonteenomaista kemiallisten ilmiöiden ja aineiden ominaisuuksien havaitseminen ja tutkiminen kokeellisesti, ilmiöiden tulkitseminen ja selittäminen mallien ja rakenteiden avulla, ilmiöiden kuvaaminen kemian merkkikielellä sekä ilmiöiden mallintaminen ja matemaattinen käsittely.”* (Opetushallitus, 2003)

Kokeellisuutta kemian opetuksessa on tutkittu paljon (esim. Hofstein & Lunetta, 2004; Nakhleh, Polles & Malina, 2002). Tutkimusten mukaan kokeellinen työskentely kehittää opiskelijoiden laboratoriotaitoja ja antaa näkemyksen kemiasta tieteenalana. Kokeellisuuden myötä opiskelijat tutustuvat tieteellisen ongelmanratkaisun sosiaaliseen puoleen ja

ryhmätyöskentelyyn. Opetuksessa on tärkeää ottaa huomioon, että opiskelijat eivät tee laboratoriossa uusia kemian keksintöjä, vaan toistavat jo olemassa olevaa tietoa. (Millar 2004) Kokeellisuuden on todettu myös tukevan opiskelijoiden kiinnostusta ja motivaatiota kemian opintoja kohtaan (esim. Arajärvi & Aksela, 2009; Hofstein & Lunetta, 2004).

Tutkimustiedon mukaan kokeellinen työskentely on oppimisen kannalta tehokkainta ollessaan avointa (Millar, 2004) ja kontekstisidonnaista (Nakhleh et al. 2002). Työlle asetettujen tavoitteiden tulisi olla selkeitä, eikä esimerkiksi laboratoriokurssin jokaisessa työssä tule esitellä uutta kokeellista työtapaa. Kognitiivisen ylikuormittumisen välttämiseksi ja mielekkään oppimisen tehostamiseksi kokeellisuus on syytä toteuttaa kolmessa vaiheessa (virittäytyminen, työskentely ja koonti) (Millar, 2004). Myös tietokoneavusteista työskentelyä suositellaan kokeellisuuden tueksi (esim. Lazarowitz & Tamir, 1994). Opettajien mukaan hyvä kokeellinen työ on lyhyt, sillä on havaittava loppu ja se kytkeytyy opetettavaan teoriaan. Kokeellisten töiden tulisi myös olla sopivan haasteellisia ja pohjautua konkreettisiin kemian esimerkkeihin. (Aksela ja Karjalainen, 2008, 76)

Tutkimuskirjallisuus esittää myös kritiikkiä kokeellisuutta kohtaan. Esimerkiksi Hodsonin (1996) mukaan kokeellinen työskentely on tehoton ja yliarvostettu työskentelytapa. Hodson väittää kokeellisuuden suurta merkitystä tiedekasvatuksessa perusteltavan usein virheellisesti väittämällä, että opiskelijat oppivat kokeellisen työskentelyn yhteydessä luonnontieteellisiä tutkimusmenetelmiä, vaikka todellisuudessa asia ei näin ole. Kokeellisuuden tehottomuutta perustellaan myös kritisoidulla oppimateriaalien reseptimäisyyttä, mikä ei tue mielekästä oppimista (Monteyne & Cracolice, 2004).

Kokeellisuudesta tarvitaan lisää tutkimusta. Tärkeää olisi tutkia esimerkiksi kokeellisen työskentelyn tavoitteita ja vaikutusta oppimiseen, opiskelijoiden käsityksiä ja vuorovaikutusta oppimisympäristöjen kanssa sekä hakea uusia työkaluja, joilla oppimista ja opetusta laboratorioympäristössä on mahdollista tukea. (Nakhleh et al. 2002)

3.1.5 Kontekstuaalisuus kemian opetuksessa

Kontekstuaalisuudella eli tilannesidonnaisuudella tarkoitetaan opetuksessa jotain tilannetta, johon opetus voidaan kytkeä. Kontekstuaalisuudella voidaan muun muassa hallita opetussuunnitelmien ylikuormittumista rakentamalla opetus suurempien kontekstien alle sekä tukea irrallisten ja haastavien käsitteiden oppimista ja opettamista yhdistämällä ne suurempiin konteksteihin. Lisäksi sen avulla voidaan lisätä opetuksen siirtymistä opiskelijoiden arkeen ja opiskelijoita kiinnostaviin asioihin ja siten myös tukea elinikäistä oppimista. Kemian opetuksessa kontekstuaalisuus voi olla esimerkiksi sosiaalinen tilanne (esim. kemian koskevan ongelman ratkaiseminen ryhmässä), konkreettinen paikka tai tilanne (esim. laboratorio tai luonnonkatastrofialue), kemian kulttuuri (esim. atomimallin historia) tai mikä tahansa yhteys opittavan tiedon ja opiskelijalle tutun aikaisemman tiedon välillä. (Gilbert, 2006)

Gilbertin (2006) mukaan erilaisten kontekstien monipuolinen yhdistäminen luo puitteet

laadukkaalle kemian opetukselle. Hän esittelee neljä mallia, miten kontekstuaalisuutta voidaan korostaa kemian opetuksessa:

1. Kemian käsitteiden esitleminen kemian sovellusten avulla

Tässä mallissa irralliset kemian käsitteet esitellään kemian sovellusten avulla. Kemian sovellusten takana on kuitenkin aina esimerkiksi sosiaalisia tai kulttuurisia seikkoja, minkä vuoksi käsitteen yhdistäminen pelkästään sovellukseen tekee opetuksesta usein yksipuolista. (Gilbert, 2006)

2. Käsitteiden ja sovellusten välinen vuorovaikutus

Tässä mallissa käsitteet yhdistetään konteksteihin, mutta niiden välistä vuorovaikutusta pyritään korostamaan kokonaisvaltaisemmin kuin ensimmäisessä mallissa (esim. STS-oppiminen). (Gilbert, 2006)

3. Kemian oppiminen kemian kulttuurin avulla

Tässä mallissa hyödynnetään muun muassa kemian historiaa, suuria keksintöjä tai ajankohtaisia kemiaan liittyviä tapahtumia. Kemian käsitteitä voidaan esimerkiksi opiskella tutkimalla tietyn käsitteen historiallista kehittymistä henkilöhahmojen tai innovaatioiden avulla. Yhteys opiskelijan arkeen voidaan luoda vaikka median avulla. (Gilbert, 2006)

4. Kemian sosiaalisuus kontekstina

Mallissa keskitytään rakentamaan konteksti kemiaan liittyvästä sosiaalisuudesta. Sosiaalisena kontekstina voidaan esitellä esimerkiksi tilanne, jossa tiedeyhteisö rakentaa yhteisymmärryksen jostain ilmiöstä. Tarkastelu voi keskittyä esimerkiksi siihen, miten uutta tietoa viestitään ja testataan tiedeyhteisössä. (Gilbert, 2006)

Kemian opetuksessa kontekstuaalisuus on paljon käytetty mielekkään oppimisen keino. Sen vaikutuksia kemian oppimiseen ei kuitenkaan ole systemaattisesti tutkittu. Esimerkiksi yksi kontekstuaalisuuden päähaasteista on mielekkäiden kontekstien kehittäminen. Valtaosa kontekstuaalisista materiaaleista on opettajien ja tutkijoiden kehittämiä, ja siten ne edustavat kehittäjien käsityksiä opiskelijoita kiinnostavasta kontekstista. Oppilaiden käsityksiä mielekkäistä kemian konteksteista ei ole riittävästi selvitetty. (Bennet & Holman, 2002)

Suuri osa kontekstuaalisista oppimisympäristöistä on kehitetty lukion kemian opetuksen tueksi. Näin ollen myös tutkimuksissa kohderyhmänä ovat olleet lukion opiskelijat ja opettajat. Opiskelijatutkimuksissa on tutkittu eniten kontekstuaalisuuden affektiivisia ja kognitiivisia vaikutuksia kemian oppimiseen ja suhtautumiseen kemiaan oppiaineena. Opettajatutkimukset ovat keskittyneet selvittämään kontekstuaalisten oppimisympäristöjen kehittämisen tai käyttämisen vaikutuksia opettajien ammatilliseen kasvuun. Opiskelijatutkimuksissa on yleisin tutkimusmenetelmä ollut kontrolli- ja verrokkiryhmän opettaminen kontekstuaalisilla ja ei-kontekstuaalisilla menetelmillä, minkä jälkeen eroja on

mitattu tilastollisilla testeillä (Bennet & Holman, 2002). Vastaavanlaisia tutkimuksia on tehty myös yläkoululaisilla. Esimerkiksi Turkissa suoritetussa tutkimuksessa tutkittiin, oppivatko 9.-luokkalaiset jaksollisen järjestelmän paremmin kontekstuaalisella lähestymistavalla kuin perinteisillä opetusmenetelmillä. Tulosten mukaan kontekstuaalisella lähestymistavalla saavutettiin huomattavasti paremmat oppimistulokset. (Demircioğlu, Demircioğlu & Calik, 2009)

Bennetin ja Holmanin (2002) julkaiseman kontekstuaalisuustutkimuksia käsittelevän yhteenvedon mukaan kontekstuaalisten oppimisympäristöjen ja lähestymistapojen on tutkimusten mukaan todettu erityisesti lisäävän opiskelijoiden kiinnostusta ja motivaatiota kemian opintoja kohtaan. Heidän mukaansa kontekstuaalinen lähestymistapa auttaa opiskelijoita myös ymmärtämään kemian merkitystä yhteiskunnassa sekä parantaa opiskelijoiden suhtautumista kemiaan tieteenalana. (vrt. esim. Demircioğlu et al. 2009; Ellis & Gabriel, 2010; King, Bellocchi & Ritchie, 2008)

Kontekstuaalisten oppimisympäristöjen kehittämisen ja käyttämisen on todettu tukevan myös opettajien työtä. Kehittämisen seurauksena opettajat tuntevat ylpeyttä kehittämistään oppimisympäristöistä ja kokevat voivansa vaikuttaa positiivisesti opiskelijoiden oppimiseen. He tuntevat myös kehittyvänsä ammatillisesti, mikä koetaan innostavaksi ja motivoivaksi. (Bennet & Holman, 2002) Myös Coenders, Terlouw, Dijkstra ja Pieters (2008) raportoivat kontekstuaalisten oppimateriaalien kehittämisen parantavan opettajien ammatillisia valmiuksia.

Kontekstuaalisuudesta kemian opetuksessa tarvitaan lisää tutkimusta. Vaikka tutkimustulokset ovat rohkaisevia, tarvitaan lisää tietoa kontekstuaalisesta oppimisesta ja opettamisesta, jotta sen mahdollisuuksia ja haasteita pystytään ymmärtämään kokonaisvaltaisemmin. Esimerkiksi vaikka opiskelijat kokevat kontekstuaalisuuden lisäävän heidän motivaatiotaan kemian opintoja kohtaan, ei tämä tulos kuitenkaan korreloi kemian valitsevien opiskelijoiden määrän kanssa. (Gilbert, 2006)

3.1.6 Tutkimusperustainen kemian opetus

Tutkimusperustaisen kemianopetuksen tukeminen valittiin yhdeksi keskeiseksi kehittämistä ohjaavaksi ajattelumalliksi, koska se on yksi suomalaisen opettajankoulutuksen päätavoitteista (Jakku-Sihvonen & Niemi, 2005; Jakku-Sihvonen & Niemi, 2006; Niemi & Jakku-Sihvonen, 2009). Tutkimusperustaisen opetuksen tavoitteena on tarjota opiskelijoille elinikäistä oppimista tukevia tietoja, taitoja ja asenteita. Kemian opetuksessa tämä tarkoittaa positiivista ja avointa asennetta oman ammattitaidon jatkuvaa kehittämistä kohtaan, korkealaatuista kemian ja kemian opetuksen osaamista sekä taitoja, miten osaamista ylläpidetään ja kehitetään. Tutkimusperustainen opetus luo edellytykset esimerkiksi uusimman tutkimustiedon seuraamiseen ja sen soveltamiseen omassa opetuksessa erilaisten oppijoiden ja sidosryhmien tarpeet huomioon ottaen. (Niemi & Jakku-Sihvonen, 2009)

Tutkimusperustaisuus voidaan toteuttaa neljällä tavalla: 1) tutkimusjohtoinen opetus, 2)

tutkimusorientoitunut opetus, 3) tutkimuspohjainen opetus ja 4) tutkimustuutoroitu opetus. (Jenkins & Healy, 2005)

1. Tutkimusjohtoinen opetus

Opettaja laatii opetussuunnitelman keskeiset sisällöt omien tutkimuskiinnostusten perusteella. Opetuksessa keskitytään tutkimustulosten oppimiseen ja itse tutkimusprosessi jätetään huomioimatta. Tässä mallissa opetus toteutetaan opettajajohtoisesti ja opiskelijat toimivat yleisönä. (Griffiths, 2004)

2. Tutkimusorientoitunut opetus

Opetuksessa painotetaan yhtä paljon tutkimusprosessien ja tutkimustulosten oppimista. Keskeistä on tutkimusmenetelmien opettaminen. Opetus toteutetaan opettajajohtoisena. Opettajat toimivat asiantuntijoina ja pyrkivät omien kokemustensa kautta edistämään tutkimustaitojen diffuusiota opiskelijoille. (Griffiths, 2004)

3. Tutkimuspohjainen opetus

Opetus toteutetaan tutkimuspohjaisina aktiviteetteina, joissa opiskelijan rooli on aktiivinen. Opetuksessa painotetaan enemmän tutkimusprosesseja kuin tutkimustuloksia. Perinteinen opettaja–opiskelija -roolitus on minimoitu. Opettajan tietotaidon ja tutkimuksenteon integroiminen oppimisprosessiin on tarkoituksenmukaista. (Griffiths, 2004)

4. Tutkimustuutoroitu opetus

Opetus toteutetaan artikkelien avulla. Opiskelijat lukevat artikkeleita ja refleктоivat oppimaansa kirjoittamalla tiivistelmiä sekä keskustelemalla. (Healy, 2005)

Näiden neljän kategorian välisiä eroja voidaan mallintaa koordinaatiston avulla asettamalla y-akselille opettaja- – opiskelijajohtoisuus ja x-akselille tutkimustuloksien – tutkimusprosessien korostaminen (ks. kuva 3.1.6). Tutkimusjohtoinen opetus on opettajajohtoinen opetusmalli, joka korostaa tutkimustuloksia. Tutkimusorientoitunut opetus on myös opettajajohtoinen malli, mutta se ottaa huomioon sisällön lisäksi tutkimusprosessin. Tutkimuspohjainen opetus korostaa opiskelijan aktiivista roolia ja keskittyy tutkimusprosessin tarkasteluun. Myös tutkimustuutoroidussa opetusmallissa opiskelijalla on aktiivinen rooli, mutta opetuksen pääpaino on sisällöissä. (Healy, 2005)



Kuva 3.1.6. Neljän tutkimusperustaisen opetuskategorian erot opetuksen painotuksen ja toteutuksen mukaan (mukaillen Healy, 2005, 70)

Tutkimusperustainen opetus on olennainen osa mielekästä kemian oppimista. Tässä tutkimuksessa tutkimusperustainen opetus esiintyy tutkimusorientoituneina, tutkimuspohjaisina ja tutkimustuutoroituina opetuksen toteuttamistapoina, joiden työ- ja kehittämisvälineenä kehittämistutkimusta hyödynnetään. Yhtenä näkökulmana oli myös tukea kemian aineenopettajaopiskelijoiden ja opettajien kokonaisvaltaista ammatillista kehittymistä sisällyttämällä heidät kehittäjien roolissa osaksi kehittämistutkimusta. Tällä pyrittiin myös tukemaan kehitettyjen innovaatioiden siirtymistä tulevien opettajien opetukseen ja siten edistämään TVT-innovaatioiden diffuusiota kemian opetukseen (vrt. Rogers, 1962, 1995).

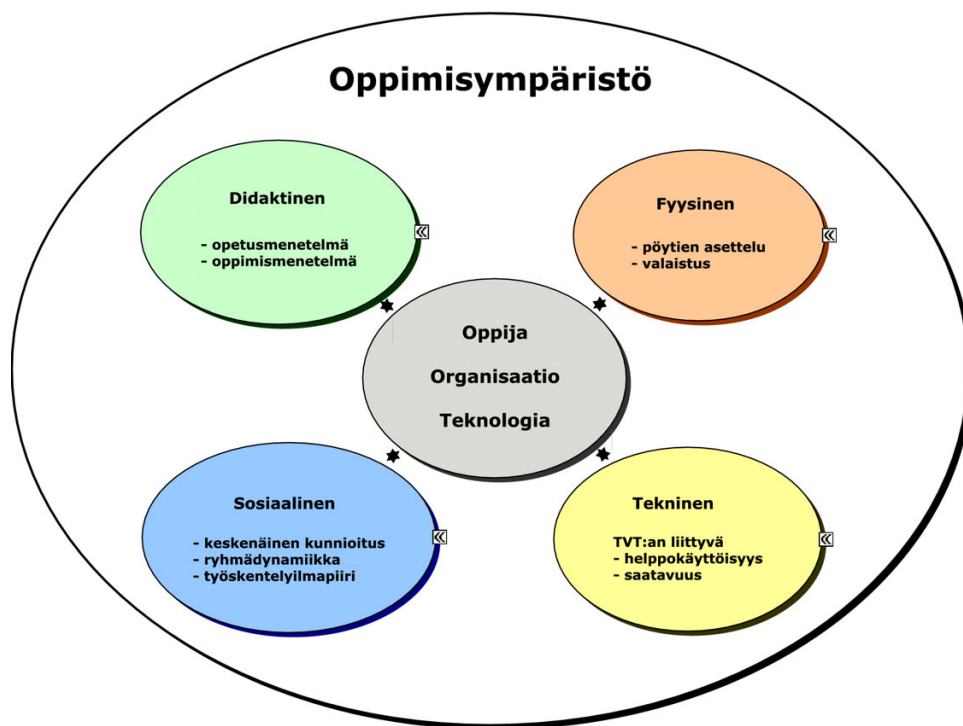
Yliopistotasolla opiskelijat suhtautuvat tutkimusperustaiseen opetuksen kehittämiseen positiivisesti. He kokevat tutkimusperustaisesti kehitetyt kurssit tavallista uskottavammiksi ja tutkivat opettajat tavallista innostuneemmiksi. Ilmiö voimistuu opintojen edetessä. Jatko-opiskelijoiden suhtautuminen tutkimusperustaiseen opetukseen on myönteisempi kuin maisteritason opiskelijoiden. (Neumann, 1994) Zamorskin (2002) mukaan myös maisteriopiskelijat arvostavat tutkimuksen ja opetuksen vahvaa vuorovaikutusta, mutta osa opiskelijoista myös kokee turhautuvansa kehittämisprosessin aikana koehenkilöinä toimimiseen. He eivät koe rooliaan tutkimuksessa aktiiviseksi eivätkä siten tunne olevansa osa yliopiston tutkimusyhteisöä. Zamorskin (2002) mukaan tämä johtuu siitä, etteivät maisteriopiskelijat tunne opetuksen tutkimusmenetelmiä tai akateemista tutkimuskulttuuria. Hän ehdottaa ratkaisuksi opiskelijoiden aktiivisuuden sekä tiedotuksen lisäämistä.

Tutkimusperustainen opetus on vahvasti esillä Helsingin yliopiston luonnontieteiden opetuksessa. Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan tavoiteohjelman 2010-2012 mukaan tiedekunnan tavoitteena on tarjota kansainvälisesti korkealaatuista tutkimukseen pohjautuvaa yliopisto-opetusta. Tavoitteen saavuttamiseksi opetusta pyritään kehittämään muun muassa tutkimuksen ja tutkimusyhteistyön avulla. (Matemaattis-luonnontieteellinen

tiedekunta, 2010) Tutkimusperustaisuuden tukeminen on otettu huomioon myös laitostasolla. Kemian opetuksen tutkimus oli yksi neljästä Helsingin yliopiston kemian laitoksen painopistealueesta vuosina 2007-2009 (Kemian laitos, 2006).

3.2 Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvat kemian oppimisympäristöt

Oppimisympäristöksi voidaan kutsua paikkaa, tilaa, yhteisöä, käytäntöä tai materiaalia, joka edistää oppimista. Oppimisympäristöjä voidaan tarkastella muun muassa oppijan, organisaation ja teknologian näkökulmista. Tarkastelussa on tärkeää ottaa huomioon oppimisympäristön didaktiset, fyysiset, sosiaaliset ja tekniset osatekijät. Didaktisilla osatekijöillä tarkoitetaan esimerkiksi käytettäviä opetus- ja oppimismenetelmiä. Fyysisiä osatekijöitä taas ovat esimerkiksi valaistus ja pöytien asettelu, teknisiä osatekijöitä TVT:n käytettävyyteen liittyvät seikat kuten helppokäyttöisyys ja saatavuus. Sosiaalisia osatekijöitä ovat muun muassa keskinäinen kunnioitus, työskentelyilmapiiri ja ryhmädynamiikka (ks. kuva 3.2). (Manninen & Pesonen, 1997)



Kuva 3.2. Oppimisympäristön muodostavat osatekijät (Manninen & Pesonen, 1997)

Oppimisympäristö voi olla avoin tai suljettu. Tässä tutkimuksessa kehitetään avoimia oppimisympäristöjä. Avoimet oppimisympäristöt ovat konstruktivistiseen oppimiskäsitykseen

pohjautuvia oppimisympäristöjä, joissa opiskelijalla on mahdollisuus valita opiskeluun liittyviä tekijöitä. Valinta voi kohdistua muun muassa materiaaleihin, tavoitteisiin tai välineisiin. Avoin oppimisympäristö mahdollistaa esimerkiksi samanaikaisesti yksilö- ja ryhmätyöskentelyn, opiskelija voi valita sopivat työskentelytavat ja vaikuttaa oppimistavoitteisiin mielekkääksi kokemiensa kontekstien kautta. Avoimet oppimisympäristöt vaativat opiskelijalta itseohjautuvuutta. Silloin keskeinen oppimiseen vaikuttava tekijä on opiskelijan motivaatio. (Meisalo, Sutinen & Tarhio, 2000)

Meisalo et al. (2000) nostavat TVT:n tärkeäksi työkaluksi opiskelumotivaation tukemisessa. TVT:aa voidaan hyödyntää avoimissa oppimisympäristöissä oppimisen ja opetuksen tukena monipuolisesti. Tästä ovat esimerkkeinä verkon hyödyntäminen ja digitaaliset oppimateriaalit (ks. tarkemmin luku 3.2.1), oppimista ja työskentelyä helpottavat ohjelmistot (mm. toimisto-ohjelmistot, kognitiiviset työkalut, opetusohjelmistot) sekä reaali- ja virtuaalimaailmat. TVT:n avulla opiskelija tai opettaja voi tähdätä tiettyyn tavoitteeseen, mutta samalla lisätä myös opiskelun tai opetuksen avoimuutta. Erilaisten ohjelmistojen avulla opiskelija pystyy seuraamaan edistymistään ja saa palautetta, mikä kehittää opiskelijan metakognitiivisia taitoja. (Meisalo et al. 2000) Seuraavissa alaluvuissa (ks. luvut 3.2.1-3.2.3) esitellään tutkimuksessa kehitettyjen oppimisympäristöjen TVT-työkalujen teoreettiset viitekehykset.

3.2.1 Verkon hyödyntäminen kemian oppimisympäristöissä

Verkko-opetuksella tarkoitetaan Internetin graafisen käyttöliittymän, World Wide Webin (WWW), avulla toteutettua opetusta tai opiskelua. WWW:n käyttöönotto 90-luvun alussa yleisti Internetin hyödyntämisen yksityishenkilö- ja organisaatiotasolla, mikä lisäsi sen käyttöä räjähdysmäisesti. Samalla myös Internetin hyödyntäminen verkko-opetuksen välineenä kasvoi nopeasti. Verkon hyödyntäminen tarjosi yhteiskunnalle uuden monipuolisen työympäristön, jonka ympärille rakennettiin kansallisia ja kansainvälisiä yhteiskuntastrategioita. Uusi teknologia tarjosi taloudellisia ratkaisuja muun muassa opetuksen toteuttamiseen. Verkko mahdollistaa esimerkiksi ajan ja paikan osalta joustavan oppimisympäristön, jossa materiaalien päivittäminen on vaivatonta. Verkko-opetuksen avulla säästetään myös tila- ja materiaalikustannuksissa. Joustavuutensa myötä verkko-opetus tukee elinikäistä oppimista (Kalliala, 2002, 18-33), minkä tukeminen on yksi kaiken koulutustyön keskeisimmistä tavoitteista (Euroopan komissio, 2007; Valtioneuvoston kanslia, 2007).

Verkko-opetus pohjautuu konstruktivistiseen oppimisnäkemykseen, jossa opiskelija on itse aktiivinen tiedon prosessoija ja konstruoi tietoa tarpeidensa mukaan. (Kalliala, 2002, 31) Verkkoympäristössä toteutetun opetuksen on todettu aktivoivan korkeamman tason kognitiivisia prosesseja (Coleman, King, Ruth & Sary, 2001). Kemian opetuksessa verkkoa voidaan käyttää apuna muun muassa tiedon jakamisessa, tiedonhaussa ja ongelmanratkaisussa. Verkon käytön on myös todettu lisäävän opiskelijoiden keskustelua kemiasta (Aksela, 2005) sekä monipuolisten visualisointiresurssien myötä (esim. Webb,

2005) tukevan kemian opetusta ja oppimista. Laajojen visualisointiresurssien on todettu auttavan oppilaita hahmottamaan kolmen kemiaa koskevan tiedon tason välisiä yhteyksiä (Kozma & Russell, 2005; Russell, Kozma, Jones, Wykoff, Marx & Davis, 1997; Russell & Kozma, 2005). Käytännössä verkkoympäristön visualisoinneilla tarkoitetaan erilaisten multimediodien käyttöä. Verkkoympäristössä mielekkäät visualisointia tukevat multimediat tukevat navigointia ja ovat käytettävyydeltään korkeatasoisia (luotettavuus, nopeus ja selkeys) (Meisalo et al. 2000, 119). Korkeamman tason kognitiivisia prosesseja opiskelijat käyttävät etenkin raportoidessaan ja esittäessään tuloksia muille. Silloin heidän on täytynyt analysoida ja arvioida tuottamansa tiedon tärkeyttä ja luotettavuutta (Maor, 2000).

Jonassenin (1999) mukaan mielekästä oppimista tukeva verkko-oppimisympäristö on aktivoiva, mielekkäästi haasteellinen, konstrukttiivinen, yhteistoiminnallinen, tavoitteellinen, kontekstuaalinen, reflektiivinen ja vuorovaikutteinen. Verkkomateriaalissa oppilaan omaa aktiivisuutta, yhteistoiminnallisuutta ja vuorovaikutteisuutta voidaan aktivoida esimerkiksi keskustelupalstoilla, joissa on mahdollisuus julkaista omia tuotoksia ja joista muut käyttäjät pääsevät antamaan palautetta. Tavoitteellisuutta voidaan ylläpitää verkkomateriaaliin sisällytettävien oppimistehtävien avulla. Oppimispäiväkirjaa pitämällä oppilas reflektoi oppimistaan. Mielekästä oppimateriaalia voidaan myös samanaikaisesti käyttää erilaisiin tarkoituksiin, esimerkiksi asioiden nopeaan kertaamiseen tai uuden asian syvällisempään opiskeluun. (Multisilta, 1997)

Yksi keino tukea mielekästä verkko-oppimista on rakentaa verkkosivut käsitekartoista. Verkkosivuista rakennetaan usein hierarkkisia, ja ne noudattavat tiettyä sisällysluetteloa. Sivut on perinteisesti yhdistetty toisiinsa sanoista tai lauseista lähtevillä hyperlinkeillä. Silloin suurista sivustoista tulee usein monimutkaisia ja tiedon etsimisestä haastavaa. Tutkimusten mukaan pystytään tiedon löytämistä ja omaksumista verkkoympäristössä parantamaan siirtymällä perinteisestä selaustyylistä käsitekarttoihin perustuvaan navigointi- ja tiedonesitysjärjestelmään. (Carnot, Dunn, Cañas, Graham & Muldoon, 2001)

Käsitekartoista rakennettujen oppimisympäristöjen tehokkuutta tiedonetsimisen ja oppimisen työkaluina on tutkittu vähän. Carnotin et al. (2001) tutkimuksessa vertailtiin käsitekartoista rakennetun oppimisympäristön tiedonetsintätehokkuutta ja -tarkkuutta perinteiseen tekstisivuista koostuvaan oppimisympäristöön. Tutkimus otti huomioon myös mielekkäiden oppijoiden ja ulkoa oppijoiden väliset erot. Tutkimuksen mukaan molemmat oppijaryhmät saavuttivat paremmat tulokset käsitekarttojen avulla, mutta mielekkäät oppijat hyötyivät käsitekartoista hieman enemmän. (Carnot et al. 2001) Käsitekarttojen soveltuvuutta kemian verkko-oppimisympäristöön tutkitaan myös tämän tutkimuksen ensimmäisessä tapauksessa (ks. luku 5.1; Pernaa & Aksela, 2008a-b).

3.2.2 Käsitekartat kemian oppimisympäristöissä

Käsitekartoitus (*engl. concept mapping*) on käsitteiden mallinnustekniikka, jossa käsitteitä yhdistetään linkkisanoilla. Tarkoituksena on muodostaa väitteitä. Näin muodostetaan käsitekarttoja (*engl. concept maps*), jotka ovat graafisia opetuksen, oppimisen, arvioinnin ja tiedonesityksen työkaluja. Ne kehitettiin 1970-luvun alkupuolella Ausubelin mielekkään oppimisen teorian sovelluksena (Novak, 1998). Tässä tutkimuksessa oppimisympäristöjen TVT-välineinä sovelletaan kahta erilaista käsitekarttatyyppiä, joita vertaillaan tarkemmin alaluvussa 3.2.2.1.

Käsitekarttojen hyödyntämisestä kemian ja yleisesti luonnontieteiden opetuksessa on tehty jonkin verran tutkimusta. Useiden tutkimusten mukaan käsitekarttojen käytöstä on hyötyä kemian opetuksessa sekä luokahuoneessa että laboratoriossa (mm. Gahr, 2003; Cardellini, 2004; Francisco, Nakhleh, Nurrenbern & Miller, 2002; Kaya, 2008; Kiliç, Kaya & Doğan, 2004; Markow & Lonning, 1998; Nicoll, Francisco & Nakhleh, 2001; Pendley, Bretz & Novak, 1994; Regis, Albertazzi & Roletto, 1996; Stensvold & Wilson, 1992; Özmen, Demircioğlu & Coll, 2009). Esimerkiksi Nicollin et al. (2001) ja Franciscon et al. (2002) mukaan käsitekarttojen käyttö kemian opetuksessa on tehokasta. Heidän tutkimuksessaan käsitekarttoja käyttäneet opiskelijat kykenivät yhdistämään käsitteitä laajemmin jo hallitsemaansa tietorakenteeseen ja pystyivät näin omaksumaan vaativampia kokonaisuuksia tehokkaammin kuin kontrolliryhmä. Tosin taas Markowin & Lonningin (1998) tutkimuksen mukaan käsitekarttojen käytöllä ei ollut tilastollisesti merkittävää eroa käsitteellisessä kemian oppimisessa verrattuna perinteiseen kemian opetukseen.

Kokeellisuuden yhteydessä pre- ja post-käsitekarttojen käytön on todettu auttavan opiskelijoita omaksumaan kokeellisuuteen liittyviä käsitteitä, jotka usein muuten jäävät itse työn suorittamisen varjoon (Kaya, 2008; Markow & Lonning, 1998; Özmen et al. 2009). Käsitekarttojen käytön on todettu myös vaikuttavan suotuisasti opiskelijoiden keskittymiskykyyn laboratorio-olosuhteissa (Stensvold & Wilson, 1992) sekä parantavan motivaatiota kemian opintoja kohtaan (Kiliç et al. 2004).

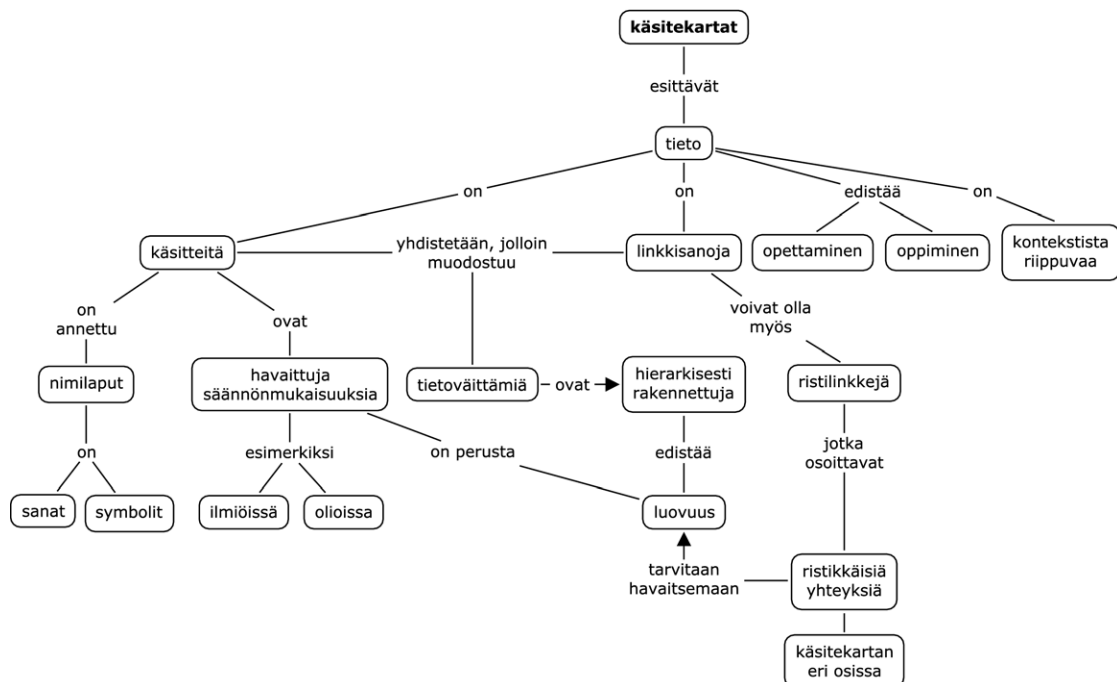
3.2.2.1 Novakilaisen ja parannetun suomalaisen käsitekartan vertailu

Käsitekartat on kehittänyt Joseph D. Novak tutkimusryhmineen, minkä vuoksi yleisesti puhutaankin novakilaisesta käsitekarttatekniikasta. Novakilaisessa käsitekartassa (ks. kuva 3.2.2.1a) lokeroitujen käsitteiden välille muodostetaan linkkisanojen avulla väittämiä, ja linkkisana on usein verbi. Väittämien avulla pyritään tuomaan esille käsitteiden välisiä mielekkäitä yhteyksiä (Novak & Gowin, 1984, 19). Novakin (1998, 32) mukaan käsite on *”havaittu säännönmukaisuus tapahtumissa tai olioissa tai muistiinpanoissa, joita on tehty tapahtumista tai olioista, joihin on liitetty nimilappu.”* Tiivistettynä voidaan ilmaista käsitekarttojen visualisoivan seuraavia tiedon elementtejä:

- Käsitteet
- Käsitteiden ja käsitekokonaisuuksien väliset suhteet (ristilinkit)
- Käsitteiden ja käsitekokonaisuuksien välisten suhteiden muodostamat rakenteet (Novak & Canas, 2006)

Canasin et al. (2005) mukaan käsitekartat eivät ole koskaan samanlaisia vaan jokainen käsitekartan tekijä luo omaa tietorakennetta vastaavan käsitekartan. Samasta aiheesta on siis olemassa useita oikeita käsitekarttoja. Käsitekarttojen rakenne riippuu myös kartoitettavan tiedon laadusta. Käsitekartoituksen tueksi he listaavat artikkelissaan kolme hyvän käsitekartan rakenteeseen liittyvää sääntöä:

- Jokaisen käsitekartan käsiteparin ja niitä yhdistävän linkkisanan välinen yhteys on luettavissa ymmärrettävänä lauseena.
- Käsitteet ja linkkisanat ovat mahdollisimman lyhyitä.
- Kartan rakenne on hierarkkinen.



Kuva 3.2.2.1a. Käsitekartta novakilaisesta käsitekartasta (mukailtu kuvioista Novak & Gowin, 1984, 18; Novak, 1998, 43)

Novakilaisen käsitekarttatekniikan lisäksi toinen tunnettu käsitteiden mallinnustekniikka on parannettu suomalainen käsitekarttatekniikka. Kyseinen mallinnustekniikka on syntynyt 1980-luvulla ja on kansallisen käsitekarttatutkimuksen käytetyin käsitekarttatekniikka. Suomalaisella käsitekarttatekniikalla on novakilaiseen tekniikkaan verrattuna muutamia merkittäviä eroja, joista tärkein on käsitekartoittajan

luovuuden korostaminen. Toisin sanoen linkkisanoista ei pyritä tekemään mahdollisimman lyhyitä ja kartoista hierarkkisia, vaan käsitekartalla pyritään kuvaamaan tarkasti käsitekartoittajan ajattelua, vaikka tämä vaatisi pidempiä linkkifraaseja ja ei-hierarkkista muotoa. (Åhlberg, 2002)

Åhlbergin (2002) mukaan käsitekartoituksen pystyy opettamaan opiskelijoille nopeasti, mutta älyä ja luovuutta vaativissa tehtävissä taidot kasvavat kokemuksen myötä. Käsitekartoille on ominaista, että ne eivät ole koskaan täysin valmiita, vaan niissä on loputon muokkaamisen ja parantamisen mahdollisuus. (Åhlberg, 2002)

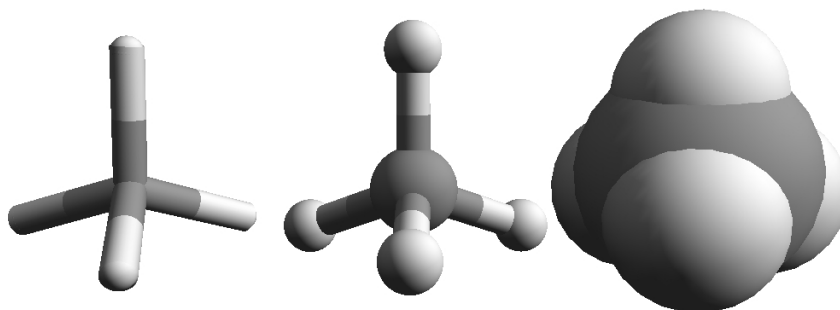
3.2.3 Tietokoneavusteinen mallinnus kemian oppimisympäristöissä

Tietokoneavusteista kemian mallinnusta tarkastellaan molekyylimallinnuksen, simulaatioiden, animaatioiden ja videoiden pohjalta. Molekyylimallinnuksella tarkoitetaan yksittäisten molekyylien tai pienten staattisten systeemien mallintamista, kun taas simulaatioilla on mahdollisuus käsitellä isompia systeemejä. Simulaatiot eroavat molekyylimallinnuksesta myös kuvaamalla dynaamisia prosesseja. Molekyylimallinnuksessa käyttäjä on mallintaja, joka rakentaa ja visualisoi mallit haluamallaan tavalla. Mallintajalla on valta päättää mallin tavoitteista, mahdollisuuksista ja rajoitteista. Simulaatioissa käyttäjän oikeuksia on rajoitettu enemmän. Usein simulaatioissa käyttäjä ei suorita laskentaa, vaan simulaatio perustuu valmiiksi laskettuun dataan, jonka pohjalta käyttäjä työskentelee. Käyttäjä voi esimerkiksi visualisoida mallia eri tavoin ja muuttaa visualisointiin vaikuttavia parametreja. (Kozma & Russell, 2005) Animaatiot ja videot kuvaavat simulaatioiden tavoin dynaamisia prosesseja, mutta ne eivät ole interaktiivisia eivätkä perustu laskennalliseen dataan. (Velázquez-Marcano, Williamson, Ashkenazi, Tasker & Williamson, 2004)

Molekyylimallinnus, simulaatiot ja animaatiot mahdollistavat submikroskooppisen tason visualisoinnin, kun taas videot tarkastelevat vain makrotasoa. Tietokoneiden avulla on mahdollista myös kemian kaikkien kolmen tason samanaikainen visualisointi, mikä auttaa opiskelijoita muodostamaan yhteyksiä eri tasojen välille ja siten kehittämään mentaalimallejaan (Tasker & Dalton, 2006). Esimerkiksi Velázquez-Marcano et al. (2004) raportoivat animaatioiden tarkastelun kehittävän opiskelijoiden kemiaa koskevan tiedon kolmen tason visualisointia, minkä seurauksena heidän mentaalimallinsa kehittyivät dynaamisemmiksi.

Tutkimusten mukaan tietokoneavusteinen mallinnus tukee myös useiden kemian käsitteiden opettamista ja oppimista (Kozma & Russell, 2005; Russell & Kozma, 2005), esimerkiksi orbitaalien (Flemming, Hart & Savage, 2000), sähkökemian (Yang, Greenbowe & Andre, 2004), aineen rakenteen ja kemiallisen reaktion (Williamson & Abraham, 1995) sekä tasapainon ja liuoskemian (Russell & Kozma, 2005). Tietokoneavusteiset mallit mahdollistavat muun muassa omien mallien rakentamisen ja testaamisen, monipuolisen kolmiulotteisen visualisoinnin (ks. kuva 3.2.3) ja kemian opetuksessa esimerkiksi molekyylien rakenteiden ja ominaisuuksien tutkimisen tai kemiallisten reaktioiden

tarkastelun. Tärkeimpinä asioina tutkimuskirjallisuus esittää TVT-avusteisen mallinnuksen mahdollisuudet korkeamman tason kognitiivisten prosessien ja opiskelijoiden motivaation tukemisessa. (Webb, 2005)



Kuva 3.2.3. Tietokoneavusteisia metaanin molekyylimalleja

Submikroskooppisen tason muutoksien kuvaamisessa on hyödynnetty erityisesti animaatioita, ja niiden on todettu tukevan esimerkiksi kokeellista työskentelyä antamalla opiskelijoille mahdollisuuden keskustella kokeellisuuteen liittyvästä kemiasta molekyyalitasolla. (Kozma & Russell, 2005) Kozma (2003) raportoi myös molekyylimallinnusohjelmistojen käytön laboratoriokurssin yhteydessä lisäävän kokeellisiin töihin liittyvää mielekästä opettaja-oppilas -keskustelua. Videoita taas käytetään esitettäessä makrotason muutoksia. Opettajien mukaan videot tarjoavat aikaa säästävän ja turvallisen välineen kemian demonstroimiseksi (Laroche, Wulfsberg & Young, 2003). Kokeellisuuden ja tietokoneavusteisen mallinnuksen yhdistäminen on kuitenkin vielä harvinaista, ja opettajat toivovat siitä enemmän koulutusta (Aksela & Lundell, 2008).

Opettajien mukaan tietokonemallinnuksen käytön pääsyitä ovat uudet tavat havainnollistaa kemiallisia ilmiöitä ja mahdollisuus tarjota opiskelijoille motivoiva ja kiinnostava työväline (Aksela & Lundell, 2008). Webbin (2005) mukaan opettajan merkitys tietokonemallinnusten hyödyntämisessä kemian opetuksen tukena on ratkaiseva. Opettajan vastuulla on ohjata opiskelijoiden ajattelua ja keskustelua, tunnistaa vaihtoehtoisia käsitteitä ja ohjata oppimista kysymysten avulla. Myös Rapp (2005) muistuttaa tietokonevisualisointien olevan ensisijaisesti työväline. Opiskelijat tarvitsevat ohjausta (teksti tai opettajan antama ohjaus) ymmärtääkseen visualisoinnin. Ilman ohjausta visualisointi saattaa aiheuttaa uudentyyppisiä vaihtoehtoisia käsityksiä. (Rapp, 2005) Tasker ja Dalton (2006) painottavat visualisointien korkean laadun ja tarkan pedagogisen suunnittelun merkitystä mallinnuksista saatavan hyödyn maksimoimiseksi.

Akselan ja Lundellin (2008) mukaan opettajat kokevat TVT:n opetuskäytön haasteelliseksi. Heidän mukaansa kemian opettajat kokevat haasteelliseksi molekyylimallinnusohjelmistojen maksullisuuden ja käyttöönoton vaatimat osaamis- ja tilaresurssit. Lisäksi suomenkielisen oppimateriaalin vähyys koetaan käyttöönottoa

haittaavaksi.

Myös pedagogisesti mielekkäiden animaatioiden hyödyntäminen on haastavaa. Niiden kehittäminen vaatii paljon resursseja sekä teknistä ja visuaalista erikoisosaamista. Animaatiot edustavat pelkästään mallintajan näkemystä mallinnetusta ilmiöstä, joten ne ovat erittäin herkkiä mallintajan animointitaidoille. Toisaalta Internet tarjoaa paljon animaatioita vapaasti käytettäväksi, mutta usein opettajat eivät vieraan kielen, sisältövirheiden tai heikon laadun vuoksi pysty käyttämään niitä. (Burke, Greenbow & Windschitl, 1998)

Mielekkästä oppimista tukevissa animaatioissa i) yhtä tapahtumaa kuvataan alle 60 sekuntia, ii) ymmärtämistä tuetaan tekstillä tai kerronnalla, iii) käyttöliittymä on monipuolinen, mutta silti helppokäyttöinen ja selkeä, iv) sisältö perustuu tutkimuskirjallisuuteen ja v) kokonaisuus on testattu opiskelijoilla ja asiantuntijoilla. (Burke et al. 1998) Animaatioiden käyttötavoista Velázquez-Marcano et al. (2004) raportoivat animaatioiden tukevan oppimista parhaiten näytettäessä niitä yhdessä makrotason videoiden kanssa, kun taas Vermaatin, Kramers-Palsin, ja Schankin (2003) mukaan omien animaatioiden tekeminen tukee oppimista enemmän kuin pelkästään niiden havainnoiminen. Taulukossa 3.2.3 nostetaan esiin muutamia keskeisiä tutkimuskirjallisuuden esittämiä mallinnustyökalujen mahdollisuuksia.

Yleisesti on todettu, että tietokoneavusteinen mallinnus tukee kemian opetusta kaikilla opetusasteilla (Aksela & Lundell, 2008). Tietokoneavusteisen mallinnuksen tutkimus on antanut paljon tietoa esimerkiksi tiettyjen kemian käsitteiden oppimisen mahdollisuuksista ja haasteista. On myös kehitetty useita monipuolisia kemian oppimisympäristöjä (esim. ChemSense ja WISE). (Rapp, 2005; Webb, 2005) Tietokonevisualisointien vaikutuksista tarvitaan kuitenkin lisää tutkimustietoa.

Rappin (2005) mukaan useissa tutkimuksissa on testattu visualisointien vaikutusta lyhyen ajan oppimiseen testi- ja kontrolliryhmien avulla. Tämä ei hänen mukaansa tuota oleellista tietoa visualisointien vaikutuksista kemian oppimiseen, sillä tutkimus ei kohdistu mielekkään oppimisen mittaamiseen. Rappin (2005) mukaan tärkeä tutkimiskohde olisi mentaalimalleissa tapahtuvien pitkän ajan muutosten tutkiminen. Haasteena tutkimuksessa olisi yhtenäiseen tavoitteeseen soveltuvien visualisointien kehittäminen. Visualisointien kehittämisessä haastavaa on ohjelmoijien, opettajien ja opetuksen tutkijoiden välinen kommunikointi. Tutkijoilla on tieto, miten tutkimus toteutetaan, ja ohjelmoijat rakentavat visualisoinnit, mutta he tarvitsevat prosessiin opettajien ja tutkijoiden ammattitaitoa. (Rapp, 2005)

Taulukko 3.2.3. Esimerkkejä tietokoneavusteisten mallinnustyökalujen mahdollisuuksista

TVT-työkalu	Oppijan ja TVT:n välinen suhde	Mahdollisuudet	Hyödyntämistapa / muut huomiot	Lähde
Animaatiot	Passiivinen	Dynaamisempi mentaalimalli	- Animaatioiden tarkastelu luentojen tukena - Animaatioiden käyttö tehtävien tukena	Williamson & Abraham, 2005; Dalton & Tasker, 2006
		Vaihtoehtoisten käsitteiden eheyttäminen	- Animaatioiden tarkastelu luentojen tukena - Ohjaavat kysymykset - Yhteistoiminnallinen oppiminen	Yang et al. 2004
		Käsitteellinen oppiminen	Videot animaatioiden tukena	Velazquez-Marciano et al. 2004
		Kognitiivisten prosessien tukeminen	Opettajan rooli kriittinen	Webb, 2005
		Kokeellisuuden tukeminen	Mahdollistaa keskustelun submikrotasolla	Russell & Kozma, 2005
Molekyylimallinnus ja simulaatiot	Aktiivinen	Mentaalimallien kehittyminen	- Molekyylien tarkastelu erilaisilla malleilla - Mallin rajojen testaaminen	Rapp, 2005
		Käsitteellinen oppiminen	Useita tapoja, opettajan rooli kriittinen	Esim. Russell & Kozma, 2005; Webb, 2005
		Kokeellisuuden tukeminen	Lisää tavoitteellista keskustelua opettajan ja opiskelijan välillä	Kozma, 2003
		Kemian tutkimustaitojen kehittyminen	Mallien rakentaminen ja testaaminen edellyttää opettajan tukea	Kozma & Russell, 2005
		Kognitiivisten prosessien tukeminen	Opettajan rooli kriittinen	Webb, 2005
		Opiskelijoiden motivointi	Modernien visualisointien käyttö ja interaktiivisuus	Aksela & Lundell, 2008; Webb, 2005
Videot	Passiivinen	Ajan säästyminen	Videoiden havainnointi	Laroche et al. 2003
		Turvallinen kokeellisuuden demonstroitinväline	Videoiden havainnointi	Laroche et al. 2003

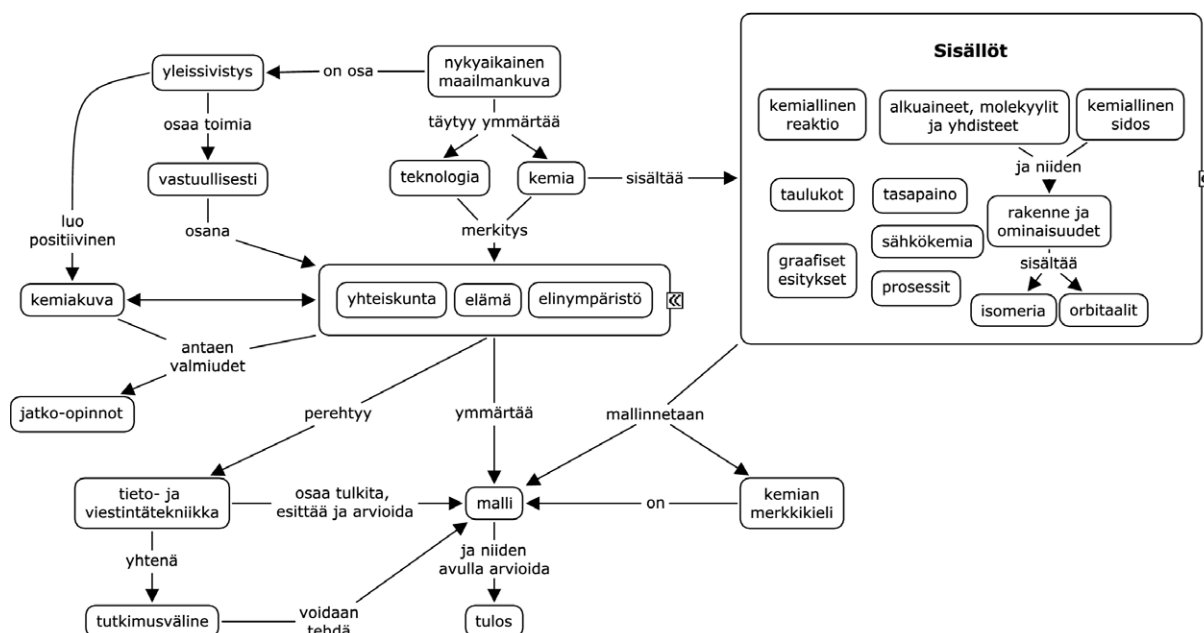
3.3 Tieto- ja viestintäteknikkakoulutus kemian opetuksessa

TVT:n hyödyntämiseen liittyvää koulutusta käsitellään kemian opetussuunnitelmien perusteiden (ks. luku 3.3.1) ja koulutukseen liittyvien innovaatioiden näkökulmista (ks. luku 3.3.2). Yleiskatsauksen jälkeen syvennyttään TVT-innovaation diffuusioon kansallisella tasolla, josta esimerkkinä esitellään tietokoneavusteinen molekyylihallinnus (ks. luku 3.3.3). Luvun tavoitteena on kuvailla tutkimusprojektin kehittämistä ohjaavia TVT-koulutukseen liittyviä seikkoja, kuten opetussuunnitelmien perusteiden näkökulma TVT:n hyödyntämiseen kemian opetuksessa sekä innovaation diffuusion mekanismit yksilö- ja ryhmätasolla.

3.3.1 Tieto- ja viestintäteknikka opetussuunnitelmien perusteissa

Uusimpien peruskoulun ja lukion opetussuunnitelmauudistusten jälkeen TVT:n hyödyntäminen on noussut kemian opetuksessa entistä keskeisemmäksi. Vuosiluokilla 7-9 ja lukiossa painotetaan yhä enemmän nykyaikaisen maailmankuvan muodostumista osana yleissivistystä sekä vastuun kantamista osana yhteiskuntaa ja elinympäristöä. (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197) Myös kemian opettajien mukaan TVT, erityisesti tietokoneavusteinen molekyylihallinnus, on lukiossa olennainen osa kemian opetusta. Peruskoulussa sen merkityksen koettiin olevan pienempi (Pernaa et al. 2009).

Lukiossa kemiaan liittyvää teknologiaa opiskellaan kokeellisen kemian näkökulmasta. Sen avulla luodaan positiivista kemiakuva ja pohjustetaan opiskelijoiden valmiuksia kemian jatko-opintoihin. Opetussuunnitelmat lähestyvät TVT:aa mallien avulla. Lukiossa opiskelijat perehtyvät moderniin TVT:aan yhtenä tutkimus- ja mallinnustyökaluna. Mallien avulla tulkitaan, esitetään ja arvioidaan tietoa ja tuloksia ja niiden luotettavuutta. Mallinnusta tehdään TVT:n lisäksi visualisoimalla verbaalisesti, graafisesti ja kirjallisesti. Kemian sisällöistä opetussuunnitelmien perusteet nostavat erityisesti esille kemialliset reaktiot, kemiallisen sidoksen, isomerian, orbitaalit, alkuaineisiin, molekyyliin ja yhdisteisiin liittyvät rakenteet ja niiden ominaisuudet. Kuvassa 3.3.1 mallinnetaan opetussuunnitelmien perusteissa esiintyvien TVT:aan liittyvien käsitteiden suhteita. (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197, Pernaa et al. 2009)



Kuva 3.3.1. TVT:aan liittyvät käsitteet ja niiden välinen vuorovaikutus 7.-9. luokilla ja lukiossa (Opetushallitus, 2003, 152-155; Opetushallitus, 2004, 195-197; Pernaa et al. 2009)

3.3.2 Koulutukseen liittyvät innovaatiot ja niiden diffuusio

TVT:n hyödyntäminen kemian opetuksessa on innovaatio. Käsitteellä innovaatio kuvataan ilmiötä, johon tietyssä tapauksessa sisältyy esimerkiksi uudenlaisia toiminta- tai ajattelutapoja. (Rogers, 1962, 13) Innovaatioihin liittyy tiettyjä ennakkouskomuksia. Esimerkiksi yleisesti ajatellaan, että termiä innovaatio käytetään vain laajalle levinneistä merkittävistä uudistuksista, vaikka todellisuudessa innovaatio on aina tilannesidonnainen (Denning, 2004). Pienimmillään se olla vain uusi idea, jonka yksilö omaksuu käyttöönsä (Rogers, 1962, 13). Innovaatioiden kanssa työskennellessä on tärkeää selvittää, a) mitä ne ovat, b) miten niitä tehdään ja c) miten niitä opetetaan. Denningin (2004) mukaan innovointi on ensisijaisesti koulutuskysymys, ja hänen mukaansa innovointia voidaan opettaa. Tiivistettynä innovoinnissa on kyse tarpeisiin kehitetyistä ajattelu- ja toimintatavoista. (Denning, 2004)

Koulutukseen liittyvät innovaatiot ovat maailmanlaajuisesti yksi eniten tutkituista innovaatioaloista. Innovaatioiden diffuusio kouluihin on erittäin hidasta, esimerkiksi keskimääräinen yhdysvaltalainen koulu on noin 25 vuotta jäljessä parhaista tarjolla olevista toimintatavoista. Koulutukseen liittyvien innovaatioiden hitaaseen diffuusion on useita syitä, muun muassa innovaatioiden heikko tieteellinen pohja, diffuusioita edistävien henkilöiden (muutosagentti) puute ja innovaatioiden pieni kaupallinen potentiaali. (Rogers, 1962, 39-43) Koulutukseen liittyvien innovaatioiden hidas diffuusionopeus näkyy selkeästi myös tarkastellessa molekyylihallinnuksen diffuusiota suomalaisen kemian opetukseen

kymmenen viime vuoden ajalta (ks. tarkemmin luku 3.3.3).

Tässä tutkimuksessa tarkastellaan innovaation diffuusiota sekä yksilö- että ryhmätasolla. Denningin (2004) mukaan yksilötasolla innovaatiot vaativat omien vahvuuksien ja heikkouksien tiedostamista ja työstämistä, pitkäjänteisyyttä, päättäväisyyttä, verkostoja, yhteistyökykyä, laajanäköisyyttä ja avoimuutta uusille ideoille sekä kykyä toimia ja saada oma asia kiinnostavasti esille. (Denning, 2004) Innovaation omaksuminen ei tapahdu välittömästi. Yksilötasolla diffuusio etenee taitohierarkian mukaan seitsemässä vaiheessa:

0. **Ei käyttöä:** Ei tietoa, ei diffuusiota.
1. **Orientoituminen:** Innovaatiosta etsitään tietoa.
2. **Valmistautuminen:** Valmistaudutaan ottamaan innovaatio käyttöön.
3. **Mekaaninen käyttö:** Innovaatiota käytetään mekaanisesti tehtävän suorittamiseen.
4. **Rutinoituminen:** Käyttäminen on rutiininomaista, eikä suuria muutoksia käytäntöihin ole suunnitteilla.
5. **Kehittäminen:** Innovaatiota kehitetään paremman tuloksen aikaansaamiseksi.
6. **Yhteistyö:** Innovaatiota kehitetään verkostoitumisen kautta.
7. **Uudistaminen:** Innovaation voimakas kehittäminen ja soveltaminen. (Hall & Hord, 1987)

Rogersin (1995) mukaan innovaation käyttöönottoon vaikuttavat yksilötasolla useat seikat. Innovaatio omaksutaan useammassa tapauksessa, jos se tarjoaa omaksujan mielestä aikaisempaan verrattuna parempia toiminta- tai ajattelutapoja ja sopii omaksujan tarpeisiin, resursseihin ja osaamiseen. Innovaation tulee olla helposti omaksuttavissa. Rogersin (1995) mukaan innovaatiot, jotka voidaan omaksua suhteellisen nopeasti eri tasoilla omaksujan kykyjen ja resurssien mukaan, diffusioituvat menestyksekkäästi. Innovaatiota on mahdollista esimerkiksi kokeilla ennen sitoutumista (esim. ohjelmiston kokeiluversio). Innovaation omaksujaa motivoi myös muutoksen näkyvyys ympäristössä, jolloin muun muassa vertaistuki nopeuttaa diffuusiota. Kommunikaatio on samankaltaisten asenteiden, tavoitteiden ja osaamistason vuoksi homogeenisessä ryhmässä on tehokasta, mutta innovaation diffuusio vaatii kuitenkin aina heterogeenisen ryhmän (esim. asiantuntija vs. noviisi). Jos kaksi ihmistä ymmärtävät innovaation täysin samoin, diffuusiota ei tapahdu. (Rogers, 1995) Myös Juuti, Lavonen Aksela ja Meisalo (2009) kokivat heterogeenisen ryhmän olevan TVT-innovaation diffuusiolle välttämätön, mutta samalla homogeenisissä ryhmissä tapahtuvan kommunikaation tukevan innovaation omaksujien asenteita ja käyttäytymistä innovaation omaksumiselle otollisiksi.

Fishmanin, Marxin, Blumenfeldin, Krajcikin ja Solowayn (2004) mukaan kouluihin menestyksekkäästi diffusioituvan TVT-innovaation tulee olla a) tarpeisiin skaalautuva, b) pitkäikäinen ja c) käytettävä. Käytettävyydellä he tarkoittavat innovaatiota, joka on adaptoitavissa pienellä vaivalla kouluihin paikallisella tasolla. Heidän mukaansa innovaation

tulee niin ikään tarjota opettajille aikaisempaa parempia ratkaisuja, kuten esimerkiksi uudentyypin TVT-työkalun opetuksen eriyttämiseen. Lisäksi he painottavat, että helposti käyttöön otettava innovaatio sopeutuu sellaisenaan koulukulttuuriin. Se kytkeytyy opetussuunnitelmien perusteisiin ja tarjoaa opettajille resursseja, mutta ei korvaa heitä kokonaan.

Opettajat jaetaan viiteen kategoriaan sen mukaan, miten he vastaanottavat innovaatioita:

1. **Innovaattorit** (*engl. innovators*): 2,5 % opettajista on innovaattoreita, jotka tarttuvat rohkeasti uusiin ideoihin ja edistävät niiden diffuusiota sekä kansallisella että kansainvälisellä tasolla kestäen myös mahdolliset epäonnistumiset.
2. **Varhaiset omaksijat** (*engl. early adopters*): 13,5 % opettajista kuuluu varhaisten omaksujien ryhmään, jotka toimivat paikallisina mentoreina ja ovat usein arvostetussa ja neuvoo-antavassa asemassa omassa työyhteisössä.
3. **Aikainen enemmistö** (*engl. early majority*): Aikainen enemmistö kattaa 34 % opettajista. He omaksuvat uudet ideat hieman keskimääräistä aikaisemmin ja ovat tärkeitä innovaation yleistymisessä laajemmalle.
4. **Myöhäinen enemmistö** (*engl. late majority*): Myöhäinen enemmistö (skeptikot) (34 %) omaksuu uudet ideat hieman keskimääräistä myöhemmin. Heidän omaksumisensa takana on usein taloudellinen tai sosiaalinen paine, ja he tarvitsevat usein vertaistukea innovaation käyttöönotossa.
5. **Viivyttelijät** (*engl. laggards*): Viivyttelijät (16 %) pitävät vahvasti kiinni perinteistä ja suhtautuvat innovaatioihin ja innovaattoreihin epäluuloisesti. Viivyttelijät toimivat kaikista ryhmistä eniten paikallisella tasolla ja yrittävät pysytellä erossa modernistuvasta ympäristöstä. (Rogers, 1962, 148-192)

3.3.3 Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen resurssit ja diffuusio suomalaisen kemian opetukseen

Tietokoneavusteisen molekyylihallinnuksen tutkimus on alkanut maailmanlaajuisesti 1980-luvun loppupuolella (ERIC, 2009), kun taas Suomessa vastaavanlainen tutkimus, opettajille suunnatut julkaisut ja molekyylihallinnuskoulutus ovat alkaneet 2000-luvun alussa (esim. Aksela & Lahtela-Kakkonen, 2001; Aksela & Lundell, 2007; Aksela & Lundell, 2008; Lundell & Aksela, 2003).

Mallinnukseen liittyvää kirjallisuutta on saatavilla runsaasti, esimerkiksi kemian opetuksen alan julkaisuissa mallit ovat paljon keskusteltu aihe. *Pikahaku Journal of Chemical Education* -lehdestä hakusanalla ”model” tuo 836 malleja käsittelevää artikkelia aina vuodesta 1929 alkaen. Kaikki näistä julkaisuista eivät suinkaan ole tutkimusjulkaisuja, vaan joukosta löytyy tutkimuskirjallisuuden lisäksi myös malleihin liittyviä kilpailuja, ilmoituksia, arvosteluja ja paljon ilmiökohtaisia pedagogisten mallien kuvauksia (JCE, 2009).

Molekyylihallinnuksen käyttö kemian opetuksessa on sen mahdollisuuksiin verrattuna

vähäistä (Aksela & Lundell, 2007). Vuonna 1999 suoritettua Kemian opetus tänään -tutkimuksen mukaan tietotekniikan hyödyntäminen kemian opetuksen tukena oli kemian opettajille uutta. Opettajista vain 7 % käytti TVT:ää opetuksessaan, ja TVT:n hyödyntäminen kemian opetuksen tukena oli eniten toivottu täydennyskoulutusaihe (38 %). Vuoden 1999 tutkimuksessa painotettiin TVT:n osalta kokeellisuutta ja mittausautomaatiota (Aksela & Juvonen, 1999, 20, 55).

Vuonna 2008 Kemian opetus tänään -tutkimus toistettiin päivitettyillä painopistealueilla. TVT:n hyödyntämisaste ja täydennyskoulutukseen liittyvät toiveet olivat pysyneet lähes täysin samoina. Toistetun tutkimuksen mukaan vain 8 % tutkimukseen vastanneista opettajista hyödynsi TVT:ää opetuksessaan, mutta samalla vain 7 % mainitsi sen tärkeäksi kemian kurssien kehittämiseksi. Tutkimukseen vastanneista opettajista kuitenkin yli kolmasosa toivoi TVT:ään liittyvää koulutusta (yleinen teknologia 44 %, mittausautomaatio 43 % ja Internetissä toimivat opetusohjelmat 37 %). (Aksela & Karjalainen, 2008, 73, 83 ja 93)

Ongelmana diffuusion hitaudessa eivät ole kemian opettajien asenteet. Opettajat suhtautuvat mallinnukseen erittäin positiivisesti ja tiedostavat mallinnuksen mahdollisuudet. Diffuusion hitauden pääsyyt ovat tiedot, taidot ja resurssiongelmat. (Aksela & Lundell, 2007) Molekyylimallinnuksen käyttöönotossa haasteita aiheuttavat muun muassa mallinnusohjelmien hinta, tietokoneiden määrät ja usein vähäiset tietotekniset taidot, jolloin mallinnuksen liittäminen osaksi opetusta on haastavaa. Myös suomenkielisen opetusmateriaalin puuttuminen ja vähäinen koulutustarjonta vaikeuttavat mallinnuksen siirtymistä opetukseen. (Aksela & Lundell, 2007) Kouluopetukseen tarkoitettua molekyylimallinnuskoulutusta on mahdollista saada täydennyskoulutuksissa sekä kemian aineenopettajan syventävissä opinnoissa Helsingin ja Jyväskylän yliopistossa.

Tutkimusten mukaan opettajat kaipaavat lisää tukea mallinnusohjelmien käyttöön sekä suomenkielistä materiaalia, joka soveltuu peruskoulun opetukseen ja lukion kursseille. Opettajien mukaan olisi tarvetta myös suomenkieliselle molekyylimallinnuskirjalle, joka sisältäisi esimerkiksi kemialliseen reaktioon, sidoksiin, orbitaaleihin ja isomeriaan liittyvää teoriaa ja harjoitustehtäviä. (Aksela & Lundell, 2007; Aksela, Lundell, & Pernaa, 2008; Pernaa et al. 2009)

Tällä hetkellä suomenkielistä, helposti opettajien saatavilla olevaa opetusmateriaalia löytyy vain vähän: Dimensiossa on julkaistu molekyylimallinnusta koulukontekstissa käsittelevä kahdeksanosainen artikkelisarja (Lundell & Aksela, 2003; Lundell & Aksela, 2004a-e; Lundell & Aksela, 2005; Konschin, 2005). Aiheesta on tehty jonkin verran opinnäytetöitä (esim. Jääskeläinen, 2008; Muurinen & Skarp, 2004; Saloma, 2005; Uusikartano, 2006; Vainio, 2006; Västinsalo, 2009), ja molekyylimallinnuksen tutkimuskirjallisuutta on referoitu suomeksi Kemian opetuksen päivien kokoomateoksessa 2007 (Jalonen, Aksela & Lundell, 2007). Koulutuksen ja kirjallisuuden lisäksi opettajille on tarjolla Valtakunnallisen LUMA-keskuksen Kemianluokka Gadolin -oppimisympäristö, jossa yhtenä työskentelyvaihtoehtona on mahdollisuus tutustua molekyylimallinnukseen (Aksela & Pernaa, 2009).

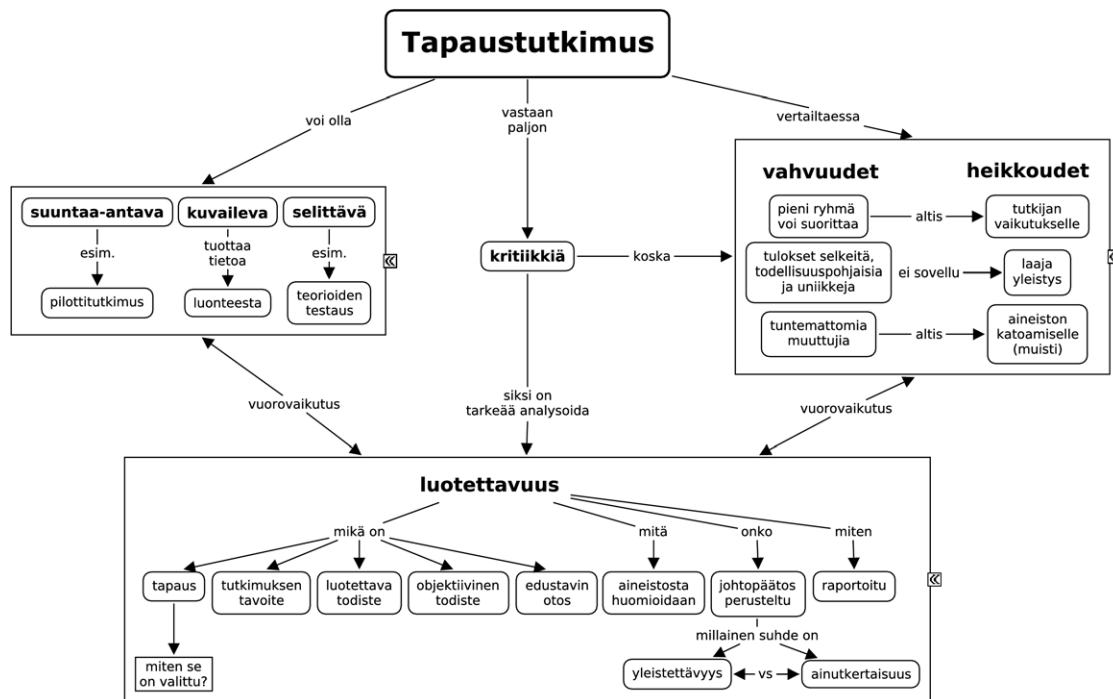
4 Tutkimusmenetelmä

Tutkimusprojektin kolme kehittämistutkimusta toteutettiin tapaustutkimuksina, joissa hyödynnettiin sekä kvalitatiivisia että kvantitatiivisia tutkimusmetodeja. Tässä luvussa esitellään tapaustutkimus tutkimusmenetelmänä (Cohen et al. 2007, 253-263), minkä jälkeen käydään läpi tapaustutkimuksissa käytetty päätutkimusmetodi laadullinen sisällönanalyysi (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-118). Lisäksi luvussa 4.3 esitellään lyhyesti toisen tapauksen ensimmäisessä vaiheessa aineiston keruumenetelmänä hyödynnetty historiatutkimus (Cohen et al. 2007, 191-204), jonka avulla pyrittiin aikaansaamaan tutkimuksen luotettavuuden parantamiseksi triangulaatiota (vrt. Tuomi & Sarajärvi, 2009, 143-149).

4.1 Tapaustutkimus

Tapaustutkimuksessa tutkitaan tiettyä tapausta rajatulla otoksella autenttisessa tilanteessa. Tämän tutkimuksen tapaustutkimuksissa otokset koostuvat opiskelija- ja opettajaryhmistä. Tapaustutkimus voi olla suuntaa-antava (alustava), kuvaileva tai selittävä tutkimus. Suuntaa-antava tapaustutkimus voi olla esimerkiksi pilottivaihe, jonka avulla muodostetaan hypoteeseja ja viimeistellään tutkimuskysymyksiä varsinaista tutkimusta varten. Tämän tutkimuksen kolmannen tapauksen ensimmäinen vaihe toteutettiin suuntaa-antavana tapaustutkimuksena (ks. luku 5.3.1). Kuvailevassa tapaustutkimuksessa saadaan tietoa tapahtuman luonteesta, ja selittävässä tapaustutkimuksessa pyritään löytämään syitä tiettyyn ilmiöön. (Cohen et al. 2007, 253-263) Tutkimuksen muut tapaustutkimukset ovat kuvailevia tapaustutkimuksia.

Tapaustutkimukselle on ominaista vahva kosketus todellisuuteen, sillä tapaustutkimuksessa tutkittava tapaus on usein aito tilanne. Tämän vuoksi tapaustutkimuksessa saatetaan havaita seikkoja, jotka jäävät suuremmalla otoksella suoritettavassa surveyssä huomaamatta. Tapaustutkimuksen vahvuutena on, että se on toteutettavissa pienellä ryhmällä, mutta juuri siksi se on myös altis tutkijan vaikutukselle. Toisaalta koska tilanne on ainutlaatuinen ja otoskoko pieni, eivät tulokset edusta hyvin koko perusjoukkoa. Tapaustutkimuksen luotettavuustarkastelussa kiinnitetään huomiota itse tapaukseen, miten se on valittu, tutkimuksen tavoitteeseen, aineistoon, data-analyysiin, johtopäätöksiin ja raportointiin (ks. kuva 4.1). (Cohen et al. 2007, 253-263)



Kuva 4.1. Käsitekartta tapaustutkimuksesta, pääpaino luotettavuudessa

4.2 Laadullinen sisällönanalyysi

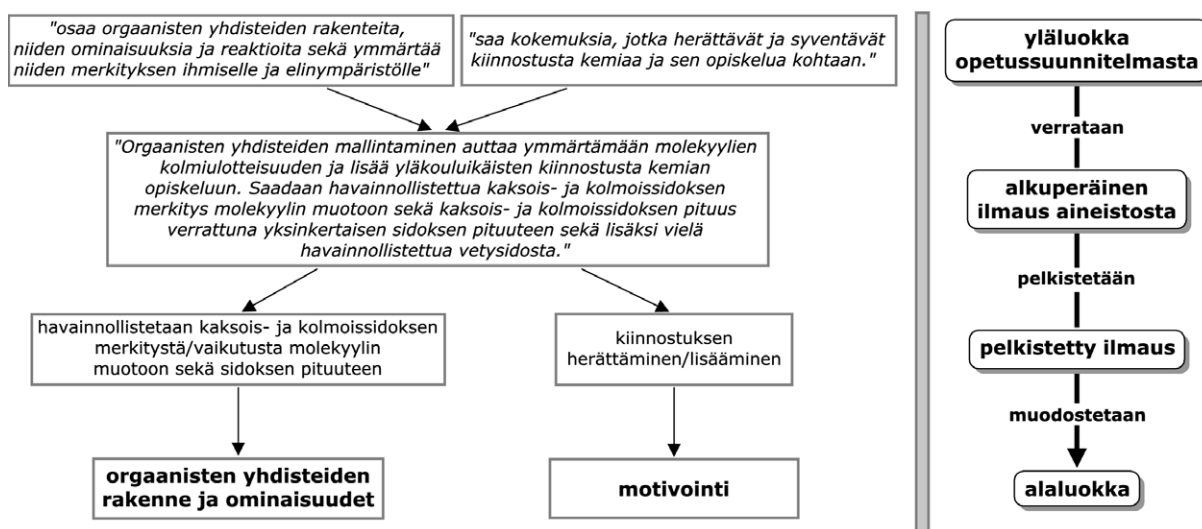
Tapaustutkimuksissa suoritettujen kyselyjen vastauksia ja tapauksiin osallistuneiden tutkimushenkilöiden kehittämistuotoksia ja -kuvauksia analysoitiin pääosin laadullisen sisällönanalyysin metodein. Laadullisen sisällönanalyysin tavoitteena on luoda tutkimusaineistosta selkeä sanallinen kuvaus. Laadullinen sisällönanalyysi voi olla aineistolähtöinen, teoriaohjaava tai teorialähtöinen sisällönanalyysi. (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 108-113)

Aineistolähtöisessä sisällönanalyysissä tutkimusaineistosta nostetaan induktiivisen päättelyketjun avulla käsitteitä, jotka esittävät tutkittavan aineiston kannan tutkittavaan ilmiöön. Aineistolähtöinen sisällönanalyysi sisältää seuraavat vaiheet: 1) aineiston pelkistäminen, 2) aineiston ryhmittely ja 3) luokkien muodostaminen.

Aineiston pelkistämisvaiheessa aineistosta etsitään analyysiyksiköitä, jotka voivat olla esimerkiksi yksittäisiä sanoja tai ajatuskokonaisuuksia. Aineiston ryhmittelyosuudessa pelkistetyt analyysiyksiköt jaetaan samankaltaisiin ryhmiin, joista vaiheessa kolme muodostetaan alaluokkia ja pääluokkia. (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 108-113) Teoriaohjaavassa sisällönanalyysissä etenevät kohdat 1 ja 2 samoin kuin aineistolähtöisessä sisällönanalyysissä, mutta kohdassa 3 aineistosta nostetut alaluokat yhdistetään teoriapohjaisiin yläluokkiin. (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 117-118)

Teorialähtöisessä sisällönanalyysissä analyysirunko perustuu olemassa olevaan teoriaan, eikä luokkia nosteta suoraan aineistosta kuten aineistolähtöisessä analyysissä.

Esimerkiksi tutkimuksessa Pernaa et al. (2009) teorialähtöisen sisällönanalyysin teoriapohjana käytettiin opetussuunnitelmien perusteita, joiden pohjalta muodostettiin sisällönanalyysin yläluokat. Analyysissä muodostettiin teoriapohjaisten yläluokkien mukaisesti molekyylihallinnukseen liittyviä tiivistettyjä alaluokkia pelkistämällä ne aineiston alkuperäisistä ilmaisuista. Päättelyketju on teorialähtöisessä sisällönanalyysissä deduktiivinen (ks. kuva 4.2) (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 113-117).



Kuva 4.2. Teorialähtöisen sisällönanalyysin päättelyketju (Pernaa et al. 2009)

Laadullisen sisällönanalyysin luotettavuutta arvioidaan analyysin ja tulosten uskottavuuden, siirrettävyyden, luotettavuuden ja varmuuden sekä vahvistettavuuden avulla. Näihin kriteereihin pyrittäessä tärkein tekijä on tutkijan huolellinen työskentely (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 134-149). Sisällönanalyysiä voidaan vielä jatkaa aineiston kvantifioinnilla, jossa lasketaan tiivistettyjen luokkien esiintymisfrekvenssejä. (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 108-113) Tällöin tutkimus saa myös määrällisiä piirteitä, jolloin luotettavuutta arvioidaan vertaisluokittelumenetelmän avulla. Vertaisluokittelussa toinen tutkija toistaa havaintoyksikköjen kvantifioinnin luokkiin luokkakuvausten pohjalta. Vertaisluokittelusta lasketaan Cohenin kappa-arvo, joka kuvaa tutkijoiden välistä yksimielisyyttä. Cohenin kappa lasketaan kaavasta:

$$K = \frac{P_o - P_c}{1 - P_c},$$

jossa P_o on tutkijoiden välinen todellinen yksimielisyys ja P_c mahdollinen sattumanvarainen yksimielisyys. Kapan ollessa yli 0,8 katsotaan luokittelun luotettavuuden olevan erinomainen. (Sim & Wright, 2005)

4.3 Historiatutkimus

Historiatutkimuksessa pyritään tekemään nykyisyyttä auttavia johtopäätöksiä tutkimalla menneisyyttä. Historiatutkimuksessa tehdään menneisyyttä tutkimalla hypoteeseja, joita testaamalla voidaan muun muassa tuottaa ratkaisuja nykyajassa vallitseviin ongelmiin, saada ymmärrystä nykyajassa tutkittaviin aineistoihin tai oppia ymmärtämään nykyaikaa ja tulevaisuutta paremmin refleктоimalla sitä menneisyyteen. (Cohen et al. 2007, 191-204) Historiatutkimusta käytettiin tutkimusprojektin toisessa tapauksessa, jossa sen avulla pyrittiin tunnistamaan kehittävän kurssin kehittämismahdollisuudet ja -haasteet analysoimalla kurssin historia.

Historiatutkimus suoritetaan tutkimalla esimerkiksi omia tai muiden kokemuksia, muistiinpanoja, muistioita tai muita tutkittavaa ilmiötä käsitteleviä dokumentteja. Tutkimusaineisto voi koostua primäärilähteistä tai sekundäärilähteistä, joista primäärilähteiden käyttö vahvistaa tutkimuksen luotettavuutta. Muita historiallisen tutkimuksen luotettavuuteen vaikuttavia seikkoja ovat esimerkiksi lähdekritiikki, heikko raportointi ja tutkijan vaikutus, johon lasketaan esimerkiksi tutkimusongelman heikko määrittely, vaikutus tutkimusaineistoon (esim. kokemusten muistaminen) ja puutteellinen päättely (ylipelkistys tai liikayleistys). (Cohen et al. 2007, 191-204)

5 Kehittämistutkimustapaukset

Tässä luvussa esitellään aikajärjestyksessä kolme kehittämistutkimustapausta, joiden pohjalta vastataan tutkimuksen päätutkimuskysymyksiin. Luvun 5.1 kehittämistutkimuksessa kehitettiin mielekästä kemian oppimista tukeva kontekstuaalinen kemian verkko-oppimisympäristö. Luvun 5.2 kehittämistutkimuksessa uudistettiin Helsingin yliopiston Kemian mallit ja visualisointi -kurssia vastaamaan paremmin kemian opetuksen tavoitteita sekä arvioidaan kehitettyjä kehittämiskäytäntöjä. Luvussa 5.3 raportoidaan kahdesta vaiheesta koostuva kehittämistutkimus. Ensimmäisessä vaiheessa kehitettiin TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistäviä kemian oppimisympäristöjä, joiden avulla selvitettiin opiskelijoiden ja opettajien käsityksiä kyseisestä aiheesta. Ensimmäinen vaihe on tutkimuksen pilottivaihe, jossa selvitettiin kehittämisen tarpeet ja mahdollisuudet. Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkimus tarkasteli kehittämisprosessia, jossa sovellettiin käytännössä luvun 5.2 tapauksessa kehitettyä malliteoriaan pohjautuvaa yhteisöllistä kehittämistutkimusta.

5.1 Tapaus I: Hyönteisten kemia mielekkään kemianoppimisen tukena

Ensimmäisen kehittämistutkimuksen tavoitteena oli kehittää lukion kemian opettajien käyttöön soveltuva mielekästä kemian oppimista tukeva hyönteisten kemian oppimisympäristö. Kehittämistutkimus 1 sisältää tähän mennessä neljä vaihetta. Tutkimus aloitettiin talvella 2007 pro gradu -tutkielmana (Pernaa, 2008). Talven 2007 aikana suoritettiin tutkimuksen ensimmäinen vaihe (alustava suunnittelu), jossa päätettiin tutkimuksen alustava käytännön toteutus.

Tutkimuksen toisessa vaiheessa (kevät 2007 - syksy 2007) kehitettiin ensimmäiset versiot verkko-oppimisympäristöstä ja käytettävyyttä tukevista tukimateriaaleista. Ensimmäinen kehittämisvaihe koostui kahdesta osasta: I) tarveanalyysi (teoreettinen ja empiirinen ongelma-analyysi) ja II) oppimisympäristön ensimmäisen version kehittäminen.

Tutkimuksen kolmannessa vaiheessa (syksy 2007 - kevät 2008) suoritettiin kehitetyn oppimisympäristön arviointi (empiirinen ongelma-analyysi). Neljännessä vaiheessa oppimisympäristön kehittämistä jatkettiin arviointiin ja aikaisempaan tutkimustietoon pohjautuen. Tutkimuksen neljäs vaihe sisältää myös tutkimuksen raportoinnin. Vaihe 4 on toistaiseksi käynnissä.

Kehittämistutkimus esitetään kehittämiskuvauksen muodossa (Bell et al. 2004). Siinä kuvaillaan vaiheittainen kehittäminen, perustellaan kehittämispäätökset (ks. luvut 5.1.1-5.1.4) ja pohditaan kehittämisen mahdollisuuksia ja haasteita (ks. luku 5.1.5) (Collins et al. 2004). Tutkimusta ohjasivat seuraavat tutkimuskysymykset:

1. Millaista hyönteisiin liittyvää kemiaa lukion kemianopetusta tukevan verkko-oppimisympäristön tulisi sisältää?
2. Millaisella verkko-oppimisympäristöllä voidaan tukea mielekästä kemian oppimista?
3. Millaisella jatkokehittämisellä kehitetyn verkko-oppimisympäristön diffuusiota opetukseen voitaisiin tukea?

5.1.1 Vaihe 1: Alustava suunnittelu

Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa laadittiin alustavat suunnitelmat kehittämiskäytännöistä. Kehitettävä hyönteisten kemian oppimisympäristö päätettiin rakentaa verkkomuotoon. Verkkomateriaalin katsottiin olevan tehokas muoto mielekkään kemianoppimisen tukemiselle, sillä se mahdollistaa muun muassa ajasta ja paikasta vapaan opiskelun sekä materiaalin tehokkaan jakelun (vrt. Kalliala, 2002, 18-33).

Vaiheessa 1 selvitettiin myös kehittämisprosessissa tarvittavia asiantuntijatahoja ja tehtiin alustavia resurssivaroituksia (mm. maksetut postikuoret arviointivaihetta varten, verkkomateriaalin serveritila ja arviointivaiheessa tarvittavat atk-tilat). Alustavaa suunnitelmaa päivitettiin tutkimuksen edetessä tarpeen mukaan, mikä tuki kehittämistutkimuksen joustavuutta (vrt. Edelson, 2002).

5.1.2 Vaihe 2: Oppimisympäristön kehittäminen

Kehittämistutkimuksissa kehittäminen alkaa muutoksen tarpeesta (esim. Juuti & Lavonen, 2006). Tämän kehittämistutkimuksen tavoitteena oli mielekkään kemianopetuksen tueksi luoda lukion kemian opettajille tarkoitettu hyönteisten kemian verkko-oppimateriaali. Ennen varsinaista oppimateriaalin rakentamista täytyi suorittaa tarveanalyysi, jonka avulla haettiin vastausta ensimmäiseen tutkimuskysymykseen.

Tarveanalyysin suorittaminen ennen kehittämisen alkua oli perusteltua. Tarveanalyysia suositellaan kehittämistutkimuksen ensimmäiseksi vaiheeksi, sillä se mahdollistaa oppimateriaalin tavoitteiden määrittelyn ja tavoiteorientoituneen kehittämisen (esim. Juuti & Lavonen, 2006). Tarveanalyysi koostui teoreettisesta ongelma-analyysistä (ks. luku 3) ja oppikirjojen aineistolähtöisestä sisällönanalyysistä (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 108-113) (ks. luku 5.1.2.1). Tarveanalyysin pohjalta rakennettiin oppimisympäristön ensimmäinen versio (ks. luku 5.1.2.2).

5.1.2.1 Hyönteisten kemian esiintyminen lukion kemian oppikirjoissa

Tutkimuksen tarveanalyysissä analysoitiin 23 lukion kemian oppikirjaa (sarjat A-E) sekä kolme yliopiston kemian peruskurssien oppikirjaa (sarja F). Yliopiston peruskurssien oppikirjat sisällytettiin analyysin olettaen, että joissakin kouluissa kemian soveltavilla ja syventävillä kursseilla saatetaan hyödyntää lukion kemian oppikirjoja laajempaa

oppimateriaalia. Analyysissä oppikirjasarjoista etsittiin hyönteisten kemiaan liittyviä mainintoja ja kuvia. Alkuperäisilmauksesta muodostettiin tiivistettyjä alaluokkia, jotka yhdistettiin pääluokiksi (ks. Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-113).

Analysoitujen lukion kirjasarjojen (A-E) kirjojen välillä oli hyönteisten kemian esiintymisen osalta vaihtelua. Kaikkien kirjasarjojen ensimmäisen kurssin kirjoista (KE1: Ihmisen ja elinympäristön kemia) löytyi mainintoja hyönteisten kemiasta. Kirjasarjoista A ja D löytyi hyönteisten kemiasta eniten mainintoja, sarjan D kaikista kirjoista ja sarjan A kaikista kirjoista (pl. A5). Myös kahdesta tutkitusta korkeakouluoppikirjasta (sarja F) löytyi hyönteisten kemiaan liittyviä mainintoja. Hyönteisten kemiaan liittyviä kuvia löytyi lähes kaikkien löytyneiden mainintojen yhteydessä. Kuvat käsittelivät hyönteisten kemiaa makro- ja symbolitasoilla.

Yleisesti ottaen hyönteisten kemiasta oli lukion oppikirjoissa mainintoja vähän. Esimerkiksi kirjasarjojen B, C ja E kirjoista 2-5 ei löytynyt mitään hyönteisten kemiaan liittyvää. Tarveanalyysin pohjalta hyönteisten kemiaan liittyvät havainnot jaettiin seitsemään pääluokkaan: 1) semiokemikaalit (10 mainintaa), 2) ampieiset ja mehiläiset (9 mainintaa), 3) hyönteisten pigmentit (6 mainintaa) ja 4) luonnonmateriaalit (6 mainintaa), 5) muurahaiset (5 mainintaa), 6) hyttyset (3 mainintaa) ja 7) energia (1 maininta).

Semiokemikaalit-pääluokkaan luokiteltiin kaikki havainnot, joissa käsiteltiin hyönteisten kemiallista viestintää, paitsi ampieiset ja mehiläiset, joille muodostettiin suuren havaintomäärän vuoksi oma pääluokka. Hyönteisten pigmentit -pääluokkaan luokiteltiin kaikki pigmenttejä koskevat havainnot. Myös kasvipigmenttien katsottiin liittyvän hyönteisten kemiaan ravinnon näkökulmasta. Tämän tutkimuksen kannalta merkityksellisiä ovat kolme suurinta luokkaa, sillä kehitettävä oppimisympäristö rajattiin niihin (ks. tarkemmin luku 5.1.2.2).

5.1.2.2 Oppimisympäristön ensimmäinen versio

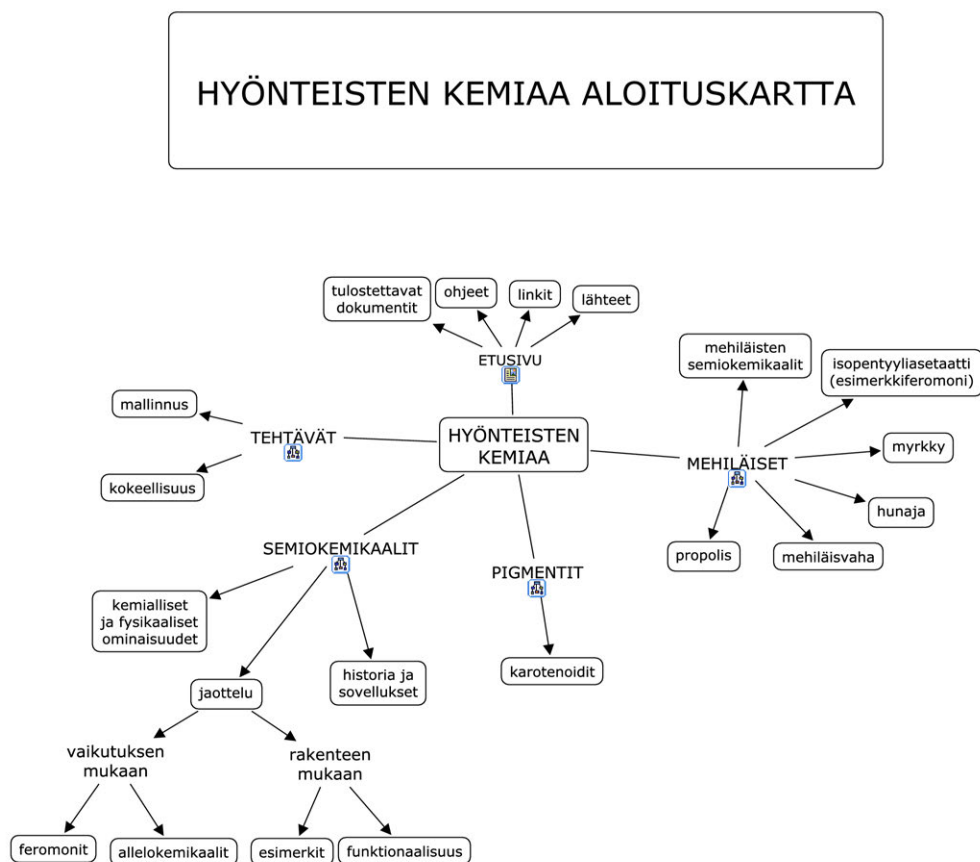
Verkko-oppimisympäristö rakennettiin Jonassenin (1999) määrittelemien mielekkään verkko-oppimisen kriteerien mukaisesti. Siten otettiin huomioon myös Edelsonin (2002) korostama kehittämistutkimuksen käytettävyyssnäkökulma. Jonassenin (1999) esittämistä kriteereistä kehittämisessä korostettiin voimakkaimmin konstruktivisuutta, kontekstuaalisuutta ja aktiivisuutta.

Verkkomateriaalin rakentamisessa kiinnitettiin huomiota erityisesti sivuston sisältöön, rakenteeseen, navigoimiseen ja ulkoasuun. Verkkomateriaaleista pyrittiin tekemään kemian tasoltaan lukiolaisille soveltuvia. Materiaalin sisältö rajattiin tarveanalyysin pohjalta kolmeen suurimpaan pääluokkaan. Tarveanalyysissä tutkituista 26 oppikirjasta 14:ssä esiintyi hyönteisten kemiaa. Hyönteisten kemiasta olivat näkyvimmin esillä semiokemikaalit ja yksittäisistä hyönteisistä mehiläisten kemia. Kolmanneksi aihealueeksi kehitettävään materiaaliin valittiin pääluokka Hyönteisten pigmentit. Pigmentit-pääluokka valittiin yhtä suuren Luonnonmateriaalit-pääluokan sijaan, sillä pigmenttien oletettiin olevan opiskelijoille

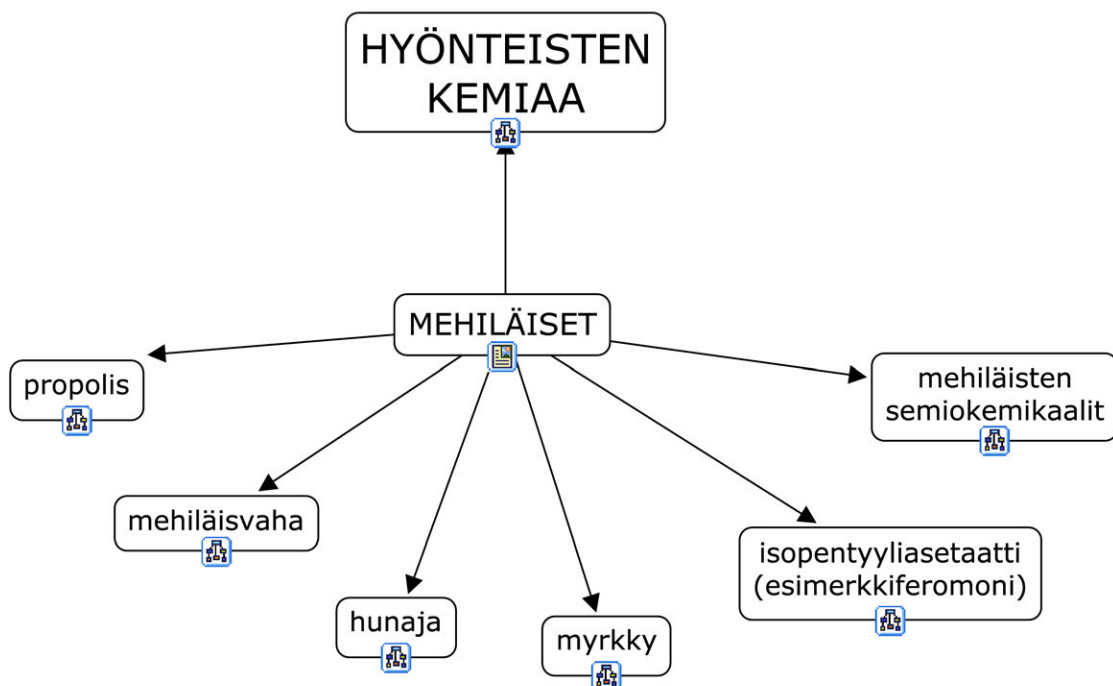
tutumpi aihe kuin luonnonmateriaalit.

Kehitetty verkkomateriaali koostui karttasivuista (ks. kuvat 5.1.2.2a ja 5.1.2.2b), käsitekarttoista (ks. kuva 5.1.2.2c) ja tekstisivuista (ks. kuva 5.1.2.2d). Materiaalin rakenteella ja navigointijärjestelmällä pyrittiin tukemaan verkkoympäristössä opiskelua (vrt. Carnot et al. 2001). Kehitetyn materiaalin tavoitteena oli toimia sekä esijärjestimenä ja kertaustyökaluna (käsitekartat) että aiheen syvemässä opiskelussa (tekstisivut). Mielekkään oppimisen teorian mukaisesti materiaalin käsitekarttoista rakennettu navigointijärjestelmä ei kannusta lukijaa opiskelemaan ulkoa vaan rakentamaan omaa tietorakennettaan mielekkäästi siten, että hän käyttää kokonaisuuksien hahmottamiseen ja kertaamiseen käsitekarttoja sekä tiedon syventämiseen tekstisivuja (vrt. Novak, 1998). Kuvat 5.1.2.2a-5.1.2.2d visualisoivat materiaalin navigointireitin tiedon syvenemisen mukaan.

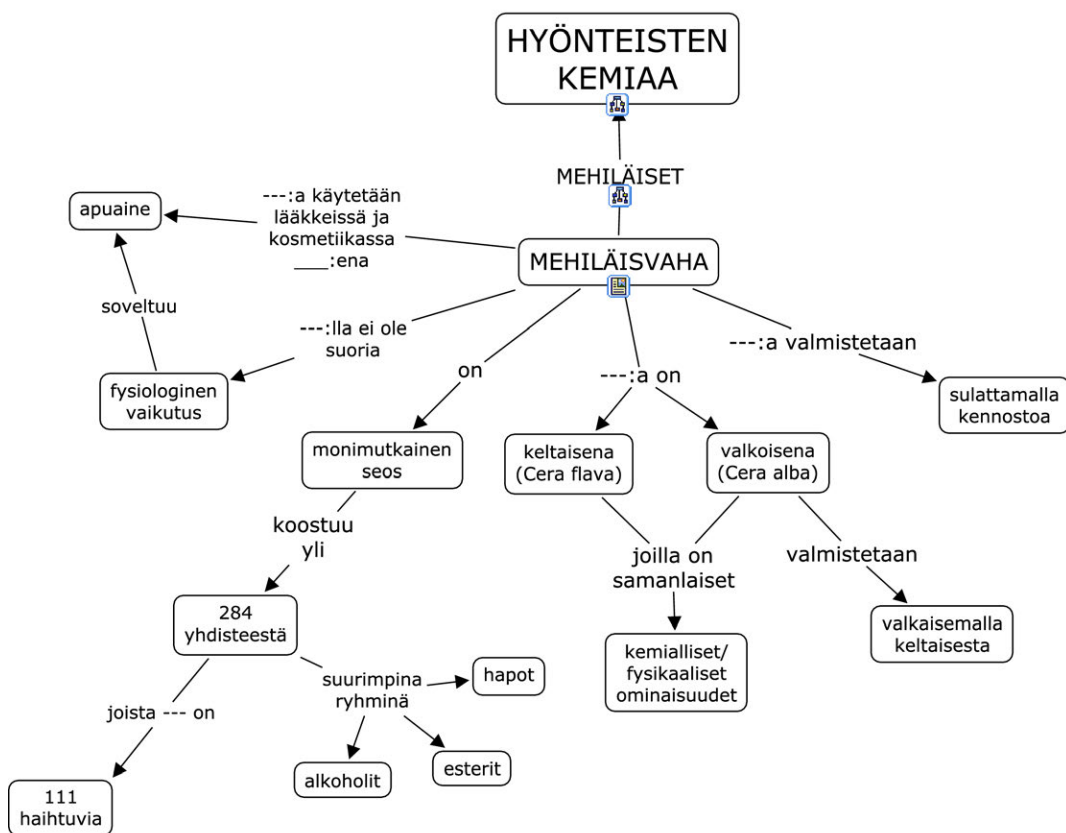
Oppimisympäristön käsitekartat ovat novakilaisia hierarkkisia käsitekarttoja. Tässä tapauksessa hierarkkisuus tuki rakennettua navigointijärjestelmää. Toisaalta käsitekarttoissa on piirteitä myös suomalaisista käsitekarttoista, sillä suomen kielen ilmaisu vaati käsitekarttoissa joissakin tapauksissa pidemmän linkkifraasin käyttämistä, mitä ei suositella novakilaisessa käsitekartoitustekniikassa. Käsitekartat tehtiin ilmaisella CmapTools-ohjelmistolla (IHMC, 2011).



Kuva 5.1.2.2a. Verkkomateriaalin karttasivu (taso 1)



Kuva 5.1.2.2b. Verkkomateriaalin karttasivu (taso 2)



Kuva 5.1.2.2c. Verkkomateriaalin käsitekarttasivu (taso 3)

MEHILÄISVAHA

OMINAISUUDET JA KOOSTUMUS

SOVELLUKSET

Vahat ovat pitkäketjuisten karboksylihappojen ja pitkäketjuisten alkoholien muodostamia estereitä. Mehiläisvahan (kuva 1) hydrolyysissa muodostuu C 26 ja C 28 mittaisia suoraketjuisia karboksylihappoja sekä C 30 ja C 32 mittaisia suoraketjuisia alkoholeja.

$$\text{C}_{25-27}\text{H}_{51-55} \text{---} \text{C}(=\text{O}) \text{---} \text{C}_{30-32}\text{H}_{61-65}$$

Kuva 1. Mehiläisvahan rakennekaava.

Mehiläisvahaa on sekä keltaisena (Cera flava) että valkoisena (Cera alba). Keltainen mehiläisvaha valmistetaan sulattamalla mehiläiskennoja (kuva 2) kuumalla vedellä ja poistamalla sulasta vieraat materiaalit. Valkoista mehiläisvahaa valmistetaan valkaisemalla keltaista mehiläisvahaa kaliumpermanganaatilla, aktiivihieillä tai auringossa.



Kuva 2. Halki leikattua vahakennostoa, jossa on muna pohjalla. (Suomen Mehiläishoitajien Liitto)

YLÖS

Kuva 5.1.2.2d. Verkkomateriaalin tekstisivu (taso 4)

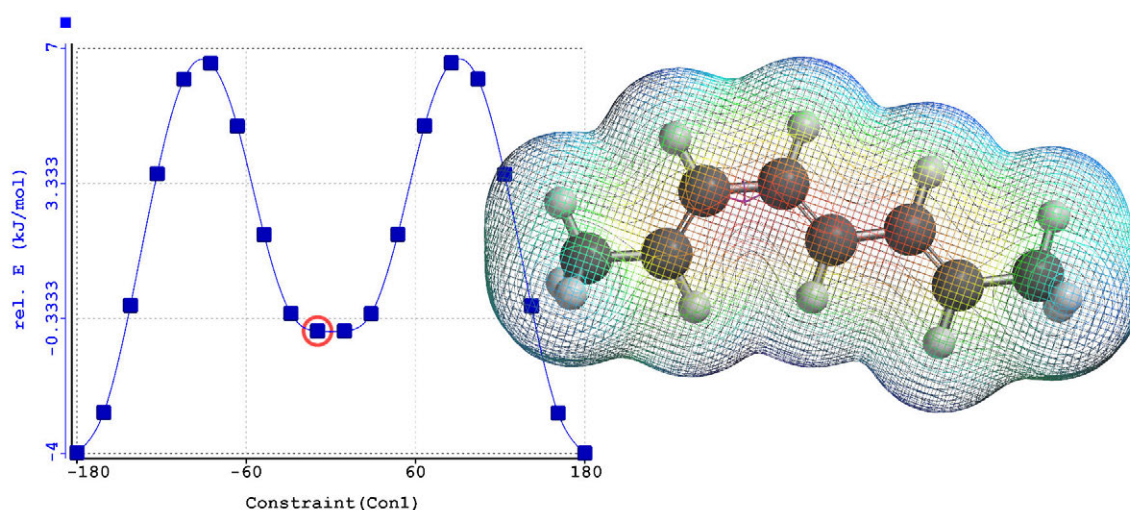
Mielekkään oppimisen teoria otettiin huomioon oppimisympäristössä myös siten, että kemia kytkettiin hyönteisten kemia -kontekstiin. Gilbertin (2006) mukaan opiskelijat kokevat kontekstuaaliset oppimisympäristöt mielekkäiksi ja motivoiviksi, sillä ne ovat helposti kytkettävissä omaan elämään. Novakin (1998) mukaan opiskelijan motivaatio on yksi tärkeimmistä mielekkään oppimisen kriteereistä. Materiaalista pyrittiin tekemään visuaalisesti näyttävä hyödyntämällä erilaisia sidosryhmiä laadukkaan kuvamateriaalin saamiseksi. Sivuston mehiläiskuvat saatiin Suomen mehiläishoitajien liitolta ja hyönteiskuvat luontokuvaaja Antti Miettiseltä.

Tarveanalyysistä kävi ilmi myös hyönteisten kemian submikrotason visualisointien puuttuminen tarjolla olevista oppikirjoista. Tähän haasteeseen vastaamiseksi rakennettiin verkkomateriaalin opetuskäyttöä ja mielekästä kemian oppimista tukevia lisämateriaaleja. Aikaisemman tutkimuskirjallisuuden perusteella submikrotason visualisoinnit integroitiin kemian kokeellisuuteen (ks. kuva 5.1.2.2.e). Tämä kehittämispäätös perustui opettajien kehittämistoiveisiin (vrt. esim. Aksela & Lundell, 2007). Kokeellisuuden tavoitteena oli myös luoda verkkomateriaaleissa esitettävälle teorialle konkreettisia soveltamiskohteita. Kokeellisia harjoitustöitä tehtiin kaksi: Isopentyyliasetaatin synteysi ja Karotenoidien eristäminen ja mallintaminen.

Isopentyyliasetaattia käsittelevässä työssä suoritetaan yhdisteen synteysi ja mallinnetaan yleisesti isopentyyliasetaattimolekyyliä sekä työssä tapahtuvaa kemiallista reaktiota. Karotenoidien eristämässä tutustutaan kromatografiaan, eristetään rasvaliukoiset pigmentit kasvinlehdistä ja mallinnetaan cis-trans-isomeriaa (ks. kuva 5.1.2.2e), mikä liittyy olennaisesti karotenoidien esiintymiseen luonnossa. Alustavassa suunnitelmassa karotenoidit

suunniteltiin eristettäväksi kiitäjien toukista, sillä ne ovat isokokoisia ja soveltuvat myös kokemattoman preparoijan työstettäväksi. Tämä kehittämissuunta jouduttiin kuitenkin hylkäämään, koska toukkien säilyttämiseen ei ollut tiloja opetuslaboratoriossa, jossa kehittäminen suoritettiin. Myöskään toukkien jatkuvaa saatavuutta ei pystytty varmistamaan alan kauppojen vähäisyyden ja toukkien elinkierron vuoksi.

Molemmat työt suunniteltiin tukemaan oppimisympäristön sisältöä. Karotenoidit käsitellään hyönteisten pigmentit -osiossa, ja isopentyyliasetaatti on semiokemikaalien ja mehiläisten esimerkkiferomoni. Molempien töiden mallinnukset tehtiin Spartan student -molekyylihallinnusohjelmistolla (Wavefunction, 2010).



Kuva 5.1.2.2e. Beta-karoteenin cis-trans-isomerian potentiaalienergian animointi

5.1.3 Vaihe 3: Oppimisympäristön arviointi

Materiaalin arviointi suoritettiin laadullisena tapaustutkimuksena syksyllä 2007 MAOL ry:n syyspäivien ja LUMA-keskuksen molekyylihallinnuspajojen yhteydessä. Arviointiin osallistui yhteensä 17 kemian opettajaa ja opettajaopiskelijaa. Vastaajille jaettiin täytettäväksi kyselylomakkeet, minkä jälkeen he saivat aikaa tutustua verkkomateriaaliin ja täyttää lomakkeet tai viedä lomakkeen mukanaan ja postittaa valmiiksi maksetussa postikuoreessa jälkikäteen. Vastaajilla oli kyselyn täyttämisen aikana mahdollisuus esittää tutkijalle oppimisympäristöön ja kehittämisprosessiin liittyviä kysymyksiä.

Kyselylomake (Liite 1) koostui 25 osiosta ja kuudesta mittarista: i) taustatiedot ja ennakkokäsitykset, ii) verkkomateriaalin ulkoasu, iii) verkkomateriaalin sisältö, iv) käsitekartat, v) käyttömukavuus ja vi) vapaa palaute tutkijalle. Kaikki mittarit sisälsivät sekä suljettuja että avoimia osioita, paitsi mittari vi, jossa oli pelkästään avoin vastausalue. Taustatietomittarin suljetut osiot olivat luokitteluasteikollisia, ja niissä oli jätetty tilaa myös perusteluille, paitsi järjestysasteikollisessa opetuskokemusosiassa (ks. Liite 1, osio 3). Muiden

mittareiden suljetut osiot olivat viisiportaisia mitta-asteikkoja, joissa oli niin ikään jätetty tilaa avoimille perusteluille. Aineistosta laskettiin frekvenssit (f), keskihajonnat (s) ja keskiarvot (ka). Niiden lisäksi tulokset-osiossa esitetään vastaajien avoimia vastauksia positiivisista ja kehitettävistä asioista, jolloin tavoitteena on kuvata opettajien avointa palautetta.

Arvioinnin suorittajat olivat pääosin kokeneita opettajia. 76 %:lla vastaajista oli yli 15 vuotta opetuskokemusta. Vastaajat suhtautuivat verkkotyöskentelyyn ennakkoon suhteellisen positiivisesti. Heistä 59 % koki työskentelyn verkkoympäristössä mielekkääksi. Suurin osa opettajista ajatteli myös oppilaiden pitävän tietokoneperustaisesta opiskelusta. Opettajien suhtautuminen käsitekarttoihin jakoi mielipiteitä. Vain 18 % vastanneista käytti käsitekarttoja opetuksessaan usein, 41 % käytti käsitekarttoja hyödyksi omassa opiskelussaan ja 65 % uskoi käsitekarttojen tehostavan oppimista.

Vastaajat arvioivat oppimisympäristön viisiasteisen mitta-asteikon avulla, jossa 1=välttävä, 2=tyydyttävä, 3=hyvä, 4=kiitettävä ja 5=erinomainen. Kyselyssä arvioitiin materiaalin ulkoasu, sisällön laajuus ja taso, käsitekarttojen selkeys ja hyödyllisyys oppimisen kannalta sekä sivuston käyttömukavuus.

Opettajat ottivat materiaalin vastaan hyvin. Kaikkien arvioitavien osa-alueiden keskiarvot olivat melko korkeat (ks. taulukko 5.1.3), ja myös materiaalin ulkoasua ja kuvia pidettiin onnistuneina. Opettajat arvioivat materiaalin kemian tason (ka=4,3; s=0,77) ja sisällön laajuuden (ka=4,0; s=0,87) kiitettäväksi. Tosin avoimessa palautteessa muutama koki kemian liian haasteelliseksi lukiolaisille. Yli 70 % (f=12, vähintään kiitettävä (=4) mitta-asteikossa) vastaajista piti käsitekarttoja verkkomateriaalin rakenteen kannalta (ka=3,8; s=3,8) tärkeinä. 18 % opettajista koki materiaalin olevan liian laaja ja käsitekarttoja olevan liikaa (1 tai 2 mitta-asteikossa). Vastanneista 88 % koki käsitekartat oppimisen kannalta hyödyllisiksi (4 tai 5 mitta-asteikossa; ka=4,2; s=0,64).

Käyttömukavuus jakoi mielipiteitä. Käyttömukavuus sai keskiarvon 3,6 (s=1,17) ja pääosin positiivista palautetta, mutta 18 % (f=3, 1 tai 2 mitta-asteikossa) vastaajista piti sivustoa rakenteeltaan hajanaisena ja navigointiominaisuuksiltaan hankalana. Osa vastaajista koki CmapTools-karttojen linkkien avaamisen käyttömukavuuden kannalta hankalaksi, koska linkkien avaamiseen tarvitaan kaksi hiiren klikkausta.

Taulukko 5.1.3. *Oppimisympäristön ensimmäisen version arviointi (N=17)*

Arvioitava osa-alue	f					s	ka
	1	2	3	4	5		
Kemian taso	0	0	3	6	8	0,77	4,3
Käsitekarttojen hyödyllisyys oppimisen kannalta	0	0	2	10	5	0,64	4,2
Sisällön laajuus	0	1	3	8	5	0,87	4,0
Rakenne	1	2	2	6	6	1,24	3,8
Käyttömukavuus	1	2	3	7	4	1,17	3,6

Vastaajien avoimia vastauksia:

Positiivisia:

- (V3) *“Monipuolinen, selkeä ja helppo navigoida.”*
- (V3) *“Tuntuisi, että oppiminen tehostuu.”*
- (V5) *”Käytännön läheinen, monipuolinen, kromatografiaa ja spektrometriaa.”*
- (V17) *“Mielenkiintoinen tapa jäsentää asiaa, käsitekarttana, ei huku tekstiin.”*
- (V10) *”Käsitekartat selventävät rakennetta”*

Kehittämisehdotuksia:

- (V9) *“Navigoinnissa Cmap-kartta on ongelmallinen.”*
- (V11) *“Kokonaiskuva jäi muodostumatta, paljon sirpaletietoa, käsitekarttoja on liikaa.”*
- (V11) *”Taso liian vaikea lukiolaiselle, mutta kemiallisesti tietysti erinomainen.”*
- (V3) *“Ehkä tieto on välillä melko yksinkertaista, mutta oppilaat ovat yksinkertaisia.”*
- (V5) *“Vaikeahko soveltaa pelkkään kemiaa. Onko materiaali liian laaja?”*

5.1.4 Vaihe 4: Oppimisympäristön jatkokehittäminen ja tutkimuksen raportointi

Talvella 2008 kehitettyä oppimisympäristöä ryhdyttiin jatkokehittämään opettajapalautteen (ks. luku 5.1.4.1) ja aikaisemman tutkimustiedon sekä tutkijan kehittämisvision (ks. luku 5.1.4.3) pohjalta. Lisäksi kehittämistutkimusta raportoitin usealla tavalla eri kohderyhmien tarpeet huomioon ottaen (ks. luku 5.1.4.2). Jatkokehittämisen ja raportoinnin tavoitteena oli tukea innovaation diffuusiota.

5.1.4.1 Jatkokehittäminen opettajapalautteen pohjalta

Oppimisympäristön arviointiin osallistuneet opettajat ja opiskelijat ottivat materiaalin kokonaisuutena vastaan hyvin. He pitivät oppimisympäristön kemian tasoa kiitettävänä ja riittävän laajana, osa jopa hieman liian laajana. Tarkastellessa materiaalin tavoitetta toimia laajana materiaalityönä ei materiaalin määrää koettu ongelmaksi. Kemian tason soveltuvuus lukiolaisille jakoi mielipiteitä. Osan mielestä taso oli liian vaativa, ja toisen ääripään mielestä kemia on osalle lukiolaisista liian yksinkertaista. Opettajat eivät kuitenkaan antaneet konkreettisia sisältöä koskevia kehittämisehdotuksia, joten palautteen korkean keskiarvon ja avoimen palautteen kannustavuuden vuoksi materiaalin laajuuteen tai sisältöön ei tehty muutoksia. Oppimisympäristö päätettiin kääntää englanniksi, jolloin se tavoittaisi enemmän käyttäjiä.

Opettajat antoivat käsitekarttojen käyttöä koskevia kehittämisideoita. 18 % (f=3) vastaajista koki, etteivät käsitekartat sovellu verkkoympäristöön. Osa opettajista koki

CmapTools-ohjelmistolla tehdyt käsitekartat hankaliksi navigoida linkistä etenemiseen tarvittavan kahden klikkauksen vuoksi. Kahdella klikkauksella ei kuitenkaan ole merkitystä arvioitaessa käsitekarttojen sopivuutta verkkomateriaalien navigointi- tai oppimistyökaluksi. CmapTools-ohjelmistossa tarvitaan kaksi klikkausta linkistä etenemiseen sen vuoksi, että saman linkki-ikonin alle voidaan sisällyttää halutessa useampia linkkiresursseja. Juuri tämä toiminto on valitun ohjelmiston vahvuuksia, ja se vaikutti keskeisesti ohjelmistovalintaan. Opettajien palautteen pohjalta käsitekarttoja päivitettiin ja navigointijärjestelmää selkeytettiin lisäämällä käyttäjän navigointivapautta eri osioiden sisällä. Uusimmat muutokset löytyvät vain oppimisympäristön englanninkielisestä versiosta.

5.1.4.2 Tutkimuksen raportointi

Talveen 2008 mennessä kehittämistutkimus oli raportoitu pro gradu -tutkielman muodossa. Raportin muoto tuki kehittämistutkimuksen raportointia, koska sitä voi verrata suppeaan monografiaan (vrt. Juuti & Lavonen, 2006). Raportointia päätettiin jatkaa, sillä yksi kehittämistutkimuksen päätavoitteista on pienentää opetuksen tutkimuksen ja kentällä vallitsevan opetustodellisuuden kuilua (esim. Bell et al. 2004; Juuti & Lavonen, 2006). Oppimisympäristön käyttöastetta pyrittiin parantamaan raportoimalla kehittämistutkimuksen tuloksia sekä kansallisilla että kansainvälisillä foorumeilla.

Kehittämistutkimuksesta kirjoitettiin hieman eri painotuksin kaksi tutkimusartikkelia. Keväällä 2008 oppimisympäristöä esiteltiin suomalaisille kemian opettajille ja kemian opetuksen tutkijoille posterin muodossa Jyväskylän Kemian opetuksen päivillä. Konferenssin symposiumkirjaan kirjoitettu tutkimusartikkeli tarkastelee verkko-opetusta hyönteisten kemian näkökulmasta kansallisen kemian opetuksen tavoitteet huomioon ottaen (ks. Pernaa & Aksela, 2008a).

Toinen artikkeli kirjoitettiin Tallinnassa ja Helsingissä syyskuussa 2008 järjestetyn kolmannen kansainvälisen käsitekarttakonferenssin symposiumkirjaan. Artikkelin tarkoitus on esitellä, miten käsitekarttoja voidaan hyödyntää kemian verkko-oppimisympäristöissä. (ks. Pernaa & Aksela, 2008b) Kehittämistutkimusta esiteltiin käsitekarttakonferenssissa myös suullisessa esityksessä.

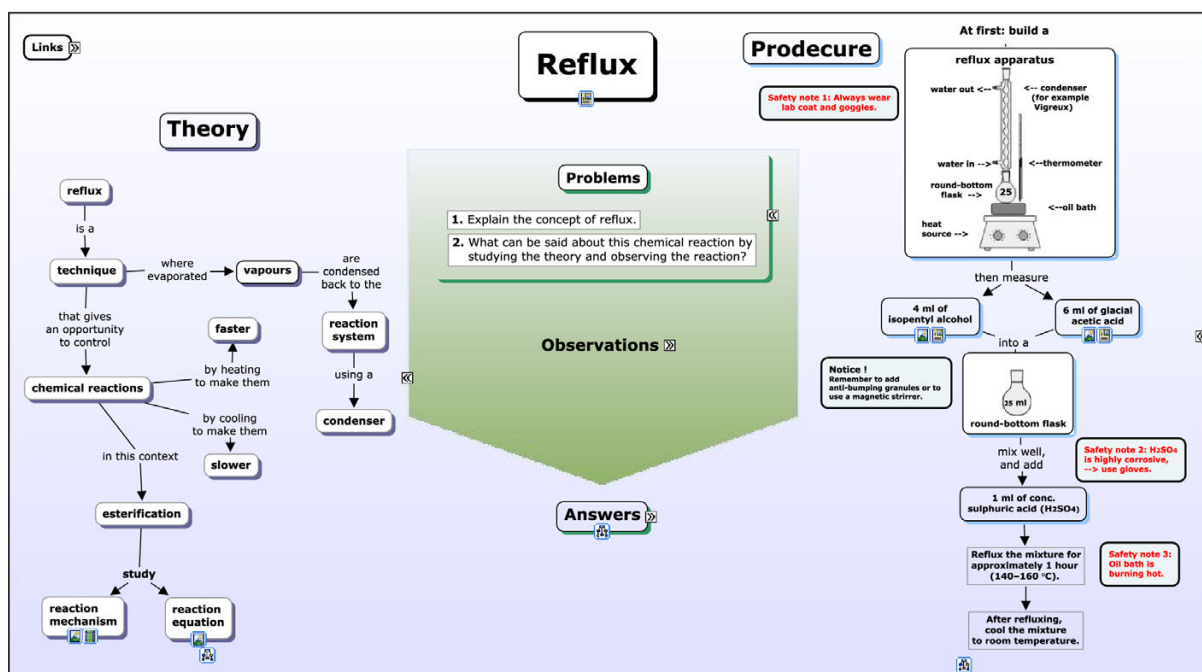
5.1.4.3 Oppimisympäristön jatkokehittäminen tutkijan vision mukaan

Arviointivaiheen perusteella oppimisympäristön jatkokehittäminen todettiin tarpeelliseksi, mutta koska opettajien palaute ei sisältänyt konkreettisia kehittämis ehdotuksia muuten kuin käsitekarttojen osalta, kehittämisstrategian laatiminen jäi tutkijan vastuulle. Kirjoitettujen artikkelien jälkeen kehittäminen kohdistettiin oppimisympäristön kokeellisten töiden uudistamiseen.

Vuoden 2008 lopussa Isopentyyliasettiin synteesi -työssä kokeiltiin tiedon esittämistä

verkko-oppimisympäristössä hyödynnetyn käsitekarttaidean ja vee-diagrammien avulla (ks. kuva 5.1.4.3a). Vee-diagrammien käyttö kemian kokeellisuuden yhteydessä oli aikaisemman tutkimuksen perusteella aiheellista. Vee-heuristiikkojen on todettu esimerkiksi lisäävän opiskelijoiden kiinnostusta ja motivaatiota laboratoriotyöskentelyä kohtaan sekä parantavan käsitteellisen tiedon yhdistämistä itse työskentelyyn (esim. Kurten-Finnäs, 2008). Uudessa versiossa mielekästä kemian oppimista tuettiin myös lisäämällä erilaisia TVT-elementtejä (esim. animaatiot, molekyylimallinnus ja verkkosivuresurssit).

Uudistetun työn ensimmäinen versio saatiin valmiiksi tammikuussa 2009, jolloin se pilotoitiin seitsemällä lukiolaisella. Uudistettu versio integroitiin kehitettyyn oppimisympäristöön, joka on nähtävissä osoitteessa http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/hyonteistenkemiaa/english/isopentyl_acetate_introduction.html (tarkastettu 13.10.2011).



Kuva 5.1.4.3a. Isopentyyliasetatin synteesi -työn uudistetun version käyttöliittymä

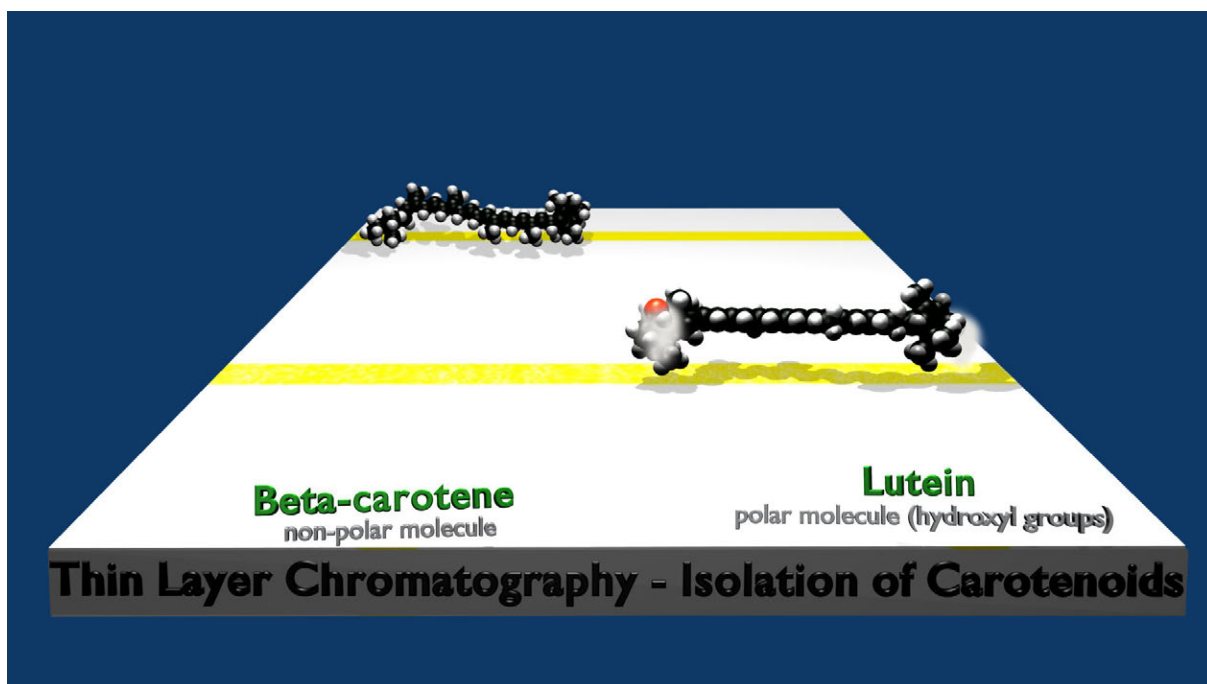
Uudistettua versiota käytettiin ja markkinoitiin vähän, sillä tutkija koki sen olevan kehittämisysteisin kannalta liian futuristinen. Uusi työ oli suunniteltu suoritettavaksi kannettavilla tietokoneilla ilman paperitulosteita, mutta tarjolla olevassa opetuslaboratoriossa ei siihen aikaan ollut riittäviä tietokoneresursseja työn suorittamiseen. Liian futuristinen kehittäminen on Juutin ja Lavosen (2006) mukaan yksi kehittämistutkimuksen haasteista. Vaikka se sinällään saattaisi avata uusia mahdollisuuksia innovaation hyödyntämiseen, ei se anna opettajille lisäresursseja opetuksen tueksi, jos heillä ei sillä hetkellä ole tarvittavaa kalustoa tai riittäviä tietoja ja taitoja ottaa uutta innovaatiota käyttöön.

Karotenoidien eristäminen ja mallintaminen -työn kehittäminen suunnattiin kokeellisuutta tukeviin visualisointeihin. Aikaisemman tutkimustiedon mukaan kemian opettajat toivoivat kokeellisuutta tukevia molekyylivisualisointeja (esim. Aksela & Lundell, 2008). Myös tutkija katsoi, ettei ensimmäisessä vaiheessa kehitetty molekyylimallinnusosio tukenut riittävän hyvin työssä suoritettavaa kokeellisuutta.

Vanha molekyylimallinnusosio käsitti cis-trans-isomeria-animaation ja molekyylin tarkastelun molekyylimekaniikka laskutasolla. Harjoitustyöstä löytyy myös muita lukiolaisille soveltuvia mallinnusmahdollisuuksia. Esimerkiksi työssä tehtävä karotenoidien eristäminen suoritetaan ohutkerroskromatografialla, jossa eristettävien yhdisteiden polaarisuus on yksi tärkeä vaikuttava tekijä. Eri yhdisteiden polaarisuuserot ovat helposti visualisoitavissa, mutta käytössä oleva Spartan student -molekyylimallinnusohjelmisto ei mahdollistanut karotenoidien kokoisten molekyylien laskennallista käsittelyä laskutasoilla, joista saataisiin tuloksena polaarisuuseroja osoittavia visualisointeja.

Visualisoinnin aikaansaamiseksi tarvittavat laskut suoritettiin Spartan-ohjelmiston täysversiolla, joka mahdollisti suurempienkin molekyylien laskennallisen käsittelyn riittävällä laskutasolla (semiempiirinen). Laskennan jälkeen tieto tallennettiin mol2-tiedostomuotoon, jonka avulla tarvittavat pinnat pystyttiin visualisoimaan verkko-olosuhteissa ilmaista Jmol-molekyylimallinnusohjelmistoa hyödyntäen (Jmol, 2011).

Interaktiivisten visualisointien tueksi rakennettiin myös eristämistä kuvaava animaatio (ks. kuva 5.1.4.3b), joka on vapaassa käytössä ilmaisessa You Tube -videopalvelussa. Animaation ja uusien mallinnusten valmistuttua uudistetun työn käyttöastetta parannettiin Kemianluokka Gadolin -oppimisympäristöä hyödyntäen. Gadolinin palveluihin sisältyy kerran kuussa julkaistava kuukauden työ, jonka avulla tuetaan kemian opettajien työtä esimerkiksi uusien töiden tai teknologian muodossa. Karotenoidien eristämisen uudistettu versio julkaistiin marraskuussa 2009 Gadolinin kuukauden työnä. Työn sisältämä moderni TVT:n hyödyntäminen tuki myös Gadolin-oppimisympäristön päätavoitteita. (vrt. Aksela & Pernaa, 2009) Työ on nähtävissä verkko-osoitteessa <http://www.helsinki.fi/kemianluokka/yksikko/marraskuu.html> (tarkastettu 13.10.2011).



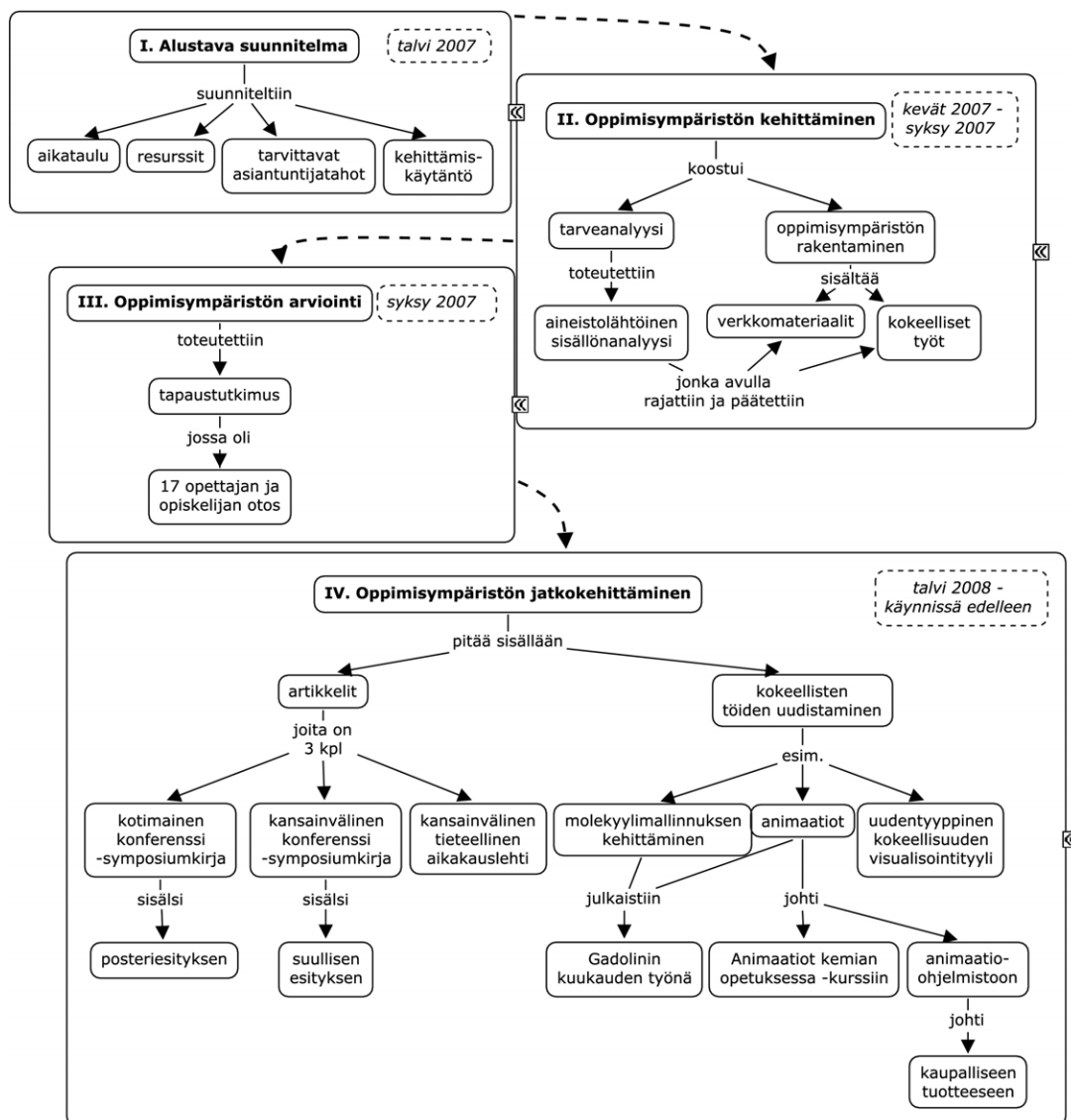
Kuva 5.1.4.3b. Still-kuva ohutkerroskromatografia-animaatiosta

Ohutkerroskromatografia-animaatio tehtiin ilmaisella Blender 3D -animaatio-ohjelmistolla (Blender, 2010). Blenderin hyödyntäminen kemian opetuksen tukena osoittautui maailmanlaajuisesti täysin uudeksi innovaatioksi. Innovaatiota esiteltiin posterimuodossa kesällä 2009 kansainvälisessä tiedeopetuksen ja -visualisoinnin konferenssissa (Visualization In Science & Education 2009) Oxfordissa. Myöhemmin innovaation ympärille perustettiin kemian opettajille tarjottava syventävä kurssi Animaatiot kemian opetuksessa (1 op). Kurssi luennoititiin ensimmäisen kerran keväällä 2010. Blender-animaatioiden pohjalta kehitettiin myös täysin itsenäinen python-kielinen molekyylimallinnusohjelmisto, joka on kaupallistettu opetusalan konsulttipalveluja tarjoavan yrityksen tuotteeksi keväällä 2010 (Liite 2).

Uusimpana jatkokehittämiskohteena on hyönteisten kemiaa käsittelevä tieteellinen artikkeli. Aikaisemmin suoritettua kehittämistutkimusta oli raportoitu artikkeleilla, jotka käsittelevät tutkimusta kemian opetuksen tutkimuksen näkökulmasta, mutta eivät itse kemian sisällön. Uusin artikkeli esittää yhteenvedon semiokemikaaleista ja hyönteisten kemiallisesta viestinnästä sekä ehdottaa muutamia pedagogisia malleja, miten hyönteisten kemiaa voidaan hyödyntää mielekkään kemianopetuksen tukena. (Pernaa & Aksela, 2011)

5.1.5 Yhteenveto ja pohdinta

Tämän kehittämistutkimuksen tavoitteena oli kehittää lukion kemianopetukseen soveltuva mielekästä kemian oppimista tukeva hyönteisten kemian oppimisympäristö. Kehittämistutkimus koostui neljästä vaiheesta (ks. kuva 5.1.5).



Kuva 5.1.5. Kehittämistutkimuksen vaiheet ja aikaskaala

I) Alustava suunnitelma

Ensimmäisessä vaiheessa suunniteltiin alustavat kehittämiskäytännöt ja selvitettiin tarvittavia tutkimusresursseja. Kehitettävä oppimisympäristö päätettiin rakentaa verkkomuotoon, sillä verkko-opiskelu mahdollistaa ajasta ja paikasta vapaan opiskelun ja materiaalin laajan jakelun pienillä kustannuksilla (vrt. Kalliala, 2002, 18-33).

II) Oppimisympäristön kehittäminen

Oppimisympäristön kehittäminen aloitettiin määrittelemällä rakennettavan materiaalin sisältöön liittyvät tarpeet. Näin pyrittiin varmistamaan, että kehitettävä oppimisympäristö soveltuisi tavoitteiden mukaisesti lukion kemianopetuksen tarpeisiin. (vrt. Juuti & Lavonen, 2006) Lukion kemianoppikirjojen aineistolähtöisen sisällönanalyysin pohjalta sisältö rajattiin semiokemikaaleihin, mehiläisiin ja pigmentteihin.

Materiaalin tavoitteena oli tukea mielekästä kemian oppimista. Materiaali rakennettiin erityisesti konstruktivisuutta, kontekstuaalisuutta ja aktiivisuutta tukevaksi oppimisympäristöksi (vrt. Novak, 1998; Jonassen, 1999). Konstruktivisuutta pyrittiin tukemaan panostamalla verkko-oppimisympäristön rakenteeseen ja navigointiin jäsentämällä materiaali käsitekarttojen avulla oppijalle mielekkääseen muotoon. Kehitetyn materiaalin tavoitteena on toimia sekä esijärjestimenä ja kertaustyökaluna (käsitekartat) että aiheen syvemmissä opiskelussa (tekstisivut) (vrt. Carnot et al. 2001; Novak, 1998).

Kontekstuaalisuus otettiin huomioon oppimisympäristössä monipuolisesti. Materiaalissa käsitellään muun muassa semiokemikaalien historiaa ja terminologian kehittymistä. Lisäksi semiokemikaalien sovellukset ja mehiläisten kemia on yhdistetty muihin luonnontieteisiin ja elinympäristöön (mm. biologia ja elintarvikekemia). (vrt. Gilbert, 2006) Materiaalin aktiivisuutta ja käytettävyyttä pyrittiin parantamaan interaktiivisilla molekyyylimalleilla ja kemian kokeellisuudella.

Kehittämisprosessissa hyödynnettiin kehittämistutkimukselle luonteenomaisesti useita eri sidosryhmiä. Esimerkiksi oppimisympäristön kuvat saatiin yhteistyökumppaneilta, ja molekyyylimallinnuksen kehittämisessä hyödynnettiin kemian laitoksen laskennallisen kemian osaamista. (vrt. Edelson, 2002)

III) Arviointi

Vastausprosessin aikana kemian opettajien asenteet käsitekarttoja kohtaan muuttuivat positiivisemmiksi. Ennakkokäsitysten mukaan 65 % opettajista piti käsitekarttoja oppimisen kannalta hyödyllisinä. Verkko-oppimisympäristöön tutustumisen jälkeen 88 % opettajista arvioi käsitekarttojen hyödyllisyyden oppimisen kannalta kiitettäväksi ($f=15$, vähintään 4 tai 5 mitta-asteikossa). Käsitekartat sopivat vastaajien mielestä verkkomateriaalin navigointityökaluksi. Yli 70 % piti käsitekarttoja selkeinä sekä tärkeänä verkkomateriaalin rakenteen hahmottavana tekijänä. Myös aikaisempien tutkimusten mukaan käsitekartat on todettu hyödyllisiksi sekä verkkoympäristössä (vrt. Carnot et al. 2001) että kemian oppimisessa (vrt. Gahr, 2003; Cardellini, 2004; Francisco et al. 2002; Kaya, 2008; Kiliç et al. 2004; Markow & Lonning, 1998; Nicoll et al. 2001; Pendley et al. 1994; Regis et al. 1996; Stensvold & Wilson, 1992; Özmen et al. 2009).

Tapaustutkimuksen heikkoutena on vastaajien joukon pieni koko ($N=17$) ja kyselylomakkeen tieteellinen taso. Ensinnäkin 17 ihmisen suuruinen tapaus ei luotettavasti edusta kemian opettajien käsityksiä kansallisessa mittakaavassa, ja toiseksi kyselylomaketta tulisi kehittää laatimalla yksityiskohtaisempia kysymyksiä arvioitavista ilmiöistä tai

hyödyntämällä valmiita mittareita. Esimerkiksi kemian tasosta tai käyttömukavuudesta ei saa kokonaisvaltaista kuvaa yhden suljetun 1-5 -kysymyksen avulla. Myös lomakkeen toisen osion kysymys 15 ”*Ovatko opetuspaketin kuvat mielestäsi järkeviä ja parantavatko ne opiskelun mielekkyyttä?*” ei ole looginen, sillä siinä on kaksi kysymystä samassa lauseessa.

Kyselylomakkeen heikon tason ja otoksen edustavuuden vuoksi johtopäätöksiä on tehty varovaisesti eikä uusia kehittämissuuntia kyselyn pohjalta nostettu. Arvioinnin uskottavuutta pyrittiin parantamaan raportoimalla opettajien avoimia vastauksia suljettujen osioiden tueksi. Huomattava tosin on, että osa vastaajista koki materiaalin olevan liian laaja laadukkaan arvioinnin suorittamiseen työpajan yhteydessä, mikä selittää esimerkiksi avointen vastausten vähäistä määrää. Tutkimuksen luotettavuutta parantavat myös arvioinnin suorittaminen useampana tutkimuspäivänä sekä kentältä tullut avoin positiivinen sähköpostipalaute käyttäjäystävällisyydestä.

IV) Jatkokehittäminen ja raportointi

Tarveanalyysin pohjalta huomattiin hyönteisten kemian submikrotason visualisointien puuttuvan lukion oppikirjoista. Tutkimuskirjallisuuden (esim. Aksela & Lundell, 2008; Kozma, 2003) mukaan opettajat toivovat kokeellisuuden ja submikrotason visualisointien yhdistäviä oppimisympäristöjä lisää. Oppimisympäristön jatkokehittämisessä pyrittiin vastaamaan tähän haasteeseen kehittämällä kokeellisiin töihin molekyyli-tason animaatioita ja molekyyli-mallinnusaktiviteetteja.

Oppimisympäristö käännettiin englanniksi, ja tutkimusta raportoititiin sekä kansallisilla että kansainvälisillä foorumeilla. Toiminnalla pyrittiin lisäämään oppimisympäristön käyttöä ja tukemaan diffuusiota erityyppisiin yhteisöihin (vrt. Rogers, 1995). Tutkimusperustaisen kemianopetuksen tukemiseksi tutkimusta esiteltiin kotimaisessa konferenssissa (ks. Pernaa & Aksela, 2008a). Materiaalin käännöksen ja kansainvälisen julkaisutoiminnan tavoitteena oli viestiä tutkimusta alan tutkijoille (ks. Pernaa & Aksela, 2008b; Pernaa & Aksela, 2011).

Tutkimuksen raportointi tutkimusartikkeleina, tuotoksen kääntäminen ja kokeellisuusosioiden hyödyntäminen Kemianluokka Gadolinin toiminnan osana parantavat tutkimuksen uskottavuutta, vahvistettavuutta, luotettavuutta ja siirrettävyyttä. Kirjoitetut tutkimusartikkelit ovat käyneet läpi kahden tai kolmen arvioijan arviointimenettelyn, jolloin ulkopuoliset arvioijat ovat vahvistaneet käytetyt tutkimusmenetelmät. Kehittämistuotoksen siirrettävyys Gadolinin toiminnan osaksi tai animaatioiden hyödyntäminen kaupallisen toiminnan osana osoittaa kehittämistuotoksen soveltuvan siirrettäväksi toiseen kontekstiin. (vrt. Tuomi & Sarajarvi, 2009, 138-139)

Tutkimus tuo esille useita lisätutkimusaiheita. Tärkeää olisi tutkia materiaalia opettajien käytössä koulussa: Mitä opettajat käyttävät materiaalista, ja miten he käyttävät materiaalia? Tutkimustulokset osoittavat kehitetyn verkkomateriaalin mallin täyttävän mielekkään kemianoppimisen asettamat kriteerit, mikä kannustaa tämän aihepiirin jatkotutkimuksiin. Kehitetty oppimisympäristö on vapaasti käytettävissä osoitteessa <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/aineistot/hyonteistenkemiala/> (tarkistettu 13.10.2011).

5.2 Tapaus II: Kemian mallit ja visualisointi -kurssin kehittäminen

Kehittämistutkimus II toteutettiin Helsingin yliopiston Kemian mallit ja visualisointi -kurssin yhteydessä keväällä 2010. Tutkimuksen toteuttivat kolme tutkijaa, jotka toimivat kurssilla opettajina. Kehittämistutkimus raportoidaan kahdessa osassa: ensimmäinen osa käsittelee kurssin kehittämistä ennen kurssin alkamista (ks. luku 5.2.1) ja toinen osa kehittämisen arviointia (ks. luku 5.2.2).

Kemian mallit ja visualisointi -kurssi on kemian aineenopettajaopiskelijoille tarkoitettu syventävä kurssi, jolla on kahdeksan vuoden historia. Kurssia on kehitetty vuosittain tasaisesti vuosien 2002-2006 aikana, mutta viimeistään vuonna 2008 täytäntöön pantu tutkinnonuudistus toi mukanaan merkittäviä uusia haasteita: Esimerkiksi kurssin laajuus kasvoi kahdesta opintoviikosta (ov) viiteen opintopisteeseen (op) ja arviointi tuli muuttaa hyväksytty/hylätty -asteikosta numerolliseen. Lisäksi kurssista tuli pakollinen kemiaa pääaineenaan opiskeleville opettajaopiskelijoille, mikä lisäsi kurssilaisten määrää aikaisempaan verrattuna huomattavasti.

Tämän kehittämistutkimuksen tavoitteena oli kehittää sekä Kemian mallit ja visualisointi -kurssia tukemaan kemian opetuksen tavoitteita ja tarpeita että myös korkeakouluopetuksen kehittämiseen soveltuvaa tutkimusmenetelmää. Tutkimuksessa kehittäminen toteutettiin yhteisöllisesti malliteoriaan pohjautuen ja arviointi laadullisina tapaustutkimuksina. Näin pyrittiin antamaan selkeä kuvaus kehittämisen etenemisestä ja onnistumisesta.

5.2.1 Vaihe 1: Malliteoriaan pohjautuva yhteisöllinen kehittäminen

Tutkimuksen ensimmäinen vaihe kehittäminen toteutettiin yhteisöllisesti Edelsonin (2002) mukaisen kehittämistutkimuksen ja Gilbertin et al. (2000) malliteorian avulla. Mallin ontologisen statuksen muutokseen pohjautuen kehittäminen sisälsi neljä vaihetta: 1) historiallinen malli, 2) sisäinen malli, 3) julkinen malli ja 4) yhteisymmärrysmalli. Nämä vaiheet muodostavat tutkimuksen kehittämiskuvauksen. Kehittämisen visualisoinnissa käytettiin tutkimuksen luotettavuuden parantamiseksi käsitekarttoja. Niitä käytetään muun muassa oppimisen, opetuksen, tiedon esittämisen tai tutkimuksen tukena relaatioiden ja kokonaisuuksien visualisoimisessa (ks. esim. Novak, 1998). Ensimmäisen vaiheen päätutkimuskysymykset olivat:

1. Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita Kemian mallit ja visualisointi -kurssin kehittämisellä on?
2. Millaisia kehittämisratkaisuja Kemian mallit ja visualisointi -kurssiin mahdollisuuksien tukemiseksi ja haasteisiin vastaamiseksi tehtiin?

5.2.1.1 Historiallisen mallin analyysi

Kehittämisen ensimmäisessä vaiheessa tutkijat tutustuivat itsenäisesti Kemian mallit ja visualisointi -kurssin historialliseen malliin analysoimalla edellisten kurssien rakenteet, sisällöt ja palautteet. Historialliseen malliin tutustuminen oli tutkimuksen empiirinen ongelma-analyysi, joka sisälsi kurssin tarkastelua sekä historiallisen tutkimuksen (ks. luku 5.2.1.1.1) (Cohen et al. 2007, 191-204) että aineistolähtöisen sisällönanalyysin metodein (ks. luku 5.1.1.2) (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-113). Tämän vaiheen tavoitteena oli selvittää tutkijoille, millaisia tarpeita ja mahdollisuuksia kurssin kehittämisellä on.

Kurssin historia raportoidaan aikaisempien vuosien kurssimateriaalien ja tutkijoiden kokemusten pohjalta. Kaikki tutkijat tarkastelivat myös kurssin koko historiallista viitekehystä omien kokemuksiensa pohjalta:

- Tutkija 1 oli osallistunut kurssille kahdesti, vuonna 2006 opiskelijana ja 2008 opettajana. Tutkija 1 vastasi myös tämän kehittämistutkimuksen koordinoinnista.
- Tutkija 2 oli toiminut jokaisella kurssikerralla (2002-2008, yhteensä kuusi kertaa) kurssin opettajana ja johtajana sekä kantanut päävastuun vuosittaisesta kehittämisestä.
- Tutkija 3 oli edellisellä kurssikerralla (2008) kurssin opiskelija.

Aineistolähtöinen sisällönanalyysi suoritettiin vuoden 2008 kurssin palautteesta. Vuoden 2008 palaute kerättiin kurssin viimeisellä luentokerralla avoimella kyselylomakkeella, johon opiskelijoita pyydettiin listaamaan perusteluineen kurssin kolme onnistunutta asiaa sekä kolme kehitettävää osa-aluetta. Palautteeseen vastasi 18 opiskelijaa, jotka antoivat 54 kurssin vahvuutta käsittelevää vastausta ja 35 kehittämisehdotusta. Analyysin luotettavuus varmistettiin vertaisarvioinnilla (ks. Sim & Wright, 2005).

5.2.1.2 Sisäisen mallin rakentaminen

Historiallisen mallin analysoinnin pohjalta kehittäjät loivat itsenäisesti sisäisen mallin kurssin sisällöstä ja toimintatavoista sekä kurssin kehittämisestä. Tutkijoille annettiin sisäisen mallin rakentamiseksi seuraavanlaiset ohjeet:

”Palauta mieleen kehittämistutkimuksen ja mallikäsitteen teoreettinen tausta ja tutustu vuoden 2008 kurssirakenteeseen, tavoitteisiin, sisältöön materiaali-CD:n avulla. Materiaali-CD sisältää kurssin kaikki tehtävät, luennot, luettavan kirjallisuuden ja paljon visualisointeja (molekyyylimalleja ja animaatiota). Tutustu seuraavaksi vuoden 2008 palautteeseen. Rakenna itsellesi kurssista sisäinen malli, joka on reflektioiva kuvaus ”historiallisen kurssin” ja haluamasi ”toteutettavan kurssin” välillä. Tarkastelun pääpaino tulee suunnata palautteen kehittämiskohtiin ja vahvuuksiin, tavoitteiden ja sisällön vuorovaikutukseen ja konkreettisen toteutuksen kehittämiseen (tehtävien määrä, laatu, arvostelu, palautusajat, käytettävä verkko-

oppimisympäristö). Sisäisen mallin muoto on vapaa, esim. käsikartta tai yksi liuska tekstiä.”

5.2.1.3 Sisäisen mallin julkistaminen

Itsenäisen työskentelyvaiheen jälkeen tutkijat tapasivat ensimmäisen kerran ja julkistivat kehittämistuotosta ja kehittämisprosessia koskevat sisäiset mallit toisilleen. Tutkija 1:n sisäinen malli oli visuaalinen (käsikartta) ja tutkijoiden 2 ja 3 mallit verbaalisia (tutkija 2: puhuttu malli ja tutkija 3: kirjoitettu malli).

5.2.1.4 Yhteisymmärrysmallin rakentaminen

Ensimmäisen tapaamisen aikana julkisia malleja testattiin ja kehitettiin keskustelun ja graafisen mallintamisen avulla. Julkisista malleista yhteiseksi työstömalliksi valittiin visuaalinen käsikartta. Tietokoneavusteinen käsikartta mahdollisti interaktiivisen työalustan, jossa tutkijat pystyivät mallintamaan samanaikaisesti. Ensimmäisen tapaamisen jälkeen tutkija 1:n tehtäväksi annettiin testaamisessa muokatun työstömallin puhtaaksi mallintaminen seuraavaan tapaamiseen mennessä. Toisessa tapaamisessa hän esitteli julkisten mallien avulla ensimmäisessä tapaamisessa työstetyn mallin, jonka tutkijat 2 ja 3 hyväksyivät yhteisymmärryksessä.

5.2.1.5 Tulokset

5.2.1.5.1 Historiallisen kurssimallin mahdollisuudet ja haasteet

5.2.1.5.1.1 Kurssin historia

Kemian mallit ja visualisointi -kurssi oli luennoitu kuusi kertaa ennen kehittämistutkimuksen alkamista. Kurssia on kehitetty tutkimusperustaisesti koko historiansa ajan, ja kehittämisestä on syntynyt jonkin verran julkaisutoimintaa (esim. Aksela & Lundell, 2008). Kurssi luennoitiin nimellä Laskennallinen kemia kouluopetuksessa (2 ov) vuosina 2002, 2003, 2004, 2005 ja 2006, minkä jälkeen tutkinnonuudistuksen myötä kurssin nimi muutettiin nykyiseen muotoon, kuormitus nousi 5 opintopisteeseen ja luennointifrekvenssi harveni joka toiseen vuoteen (ensimmäisen kerran vuonna 2008).

Laskennallinen kemia kouluopetuksessa -kurssi koostui noin seitsemästä etätehtävästä (tutkimustuutoroitu lähestymistapa (Healy, 2005)), luennoista, mallinnusharjoituksista ja projektityöstä, johon sisältyi oppimisympäristön kehittäminen ja arviointi sekä oppilasryhmän ohjaaminen pareittain (tutkimusorientoitunut ja tutkimuspohjainen lähestymistapa (Griffiths, 2004)). Kurssi arvioitiin asteikolla hyväksytty/hylätty. Hyväksytty suoritus edellytti kaikkien etätehtävistä tehtävien oppimispäiväkirjojen palauttamista ja aktiivista osallistumista projektityöhön. Projektityön aihe oli kaikilla opiskelijoilla aspiriinin mallintaminen, ja siihen

ei sisältynyt raportin kirjoittamista.

Vuoden 2008 kurssi koostui kahdeksasta etätehtävästä, kymmenestä luennosta ja projektityöstä, johon sisältyi oppilasryhmän ohjaaminen ja raportin kirjoittaminen. Projektitöiden aiheet määräytyivät ohjattavan oppilasryhmän tarpeiden mukaisesti. Etätehtävien tavoitteena oli pohjustaa luento-opiskelua. Etätehtävät koostuivat tulevan luennon aihetta käsittelevästä artikkelista, lyhyestä referaatista tai artikkeliin liittyvästä tehtävästä ja luennon alussa tapahtuvasta koontikeskustelusta. Luennot järjestettiin tiistai-aiamuisin, ja etätehtävät palautettiin maanantai-aiamuisin Blackboard-verkko-oppimisalustalle. Kurssin etätehtävistä ja luennoista viisi käsitteli kemian ilmiöitä ja neljä mallinnukseen liittyviä teoreettisia ja teknisiä työkaluja.

Kurssin luentorunko oli seuraavanlainen:

- Kurssin aloitus: (Käytännöt ja visualisointi kemiassa)
- Mallit ja mallinnus
- Johdatus laskennalliseen kemiaan
- Energia laskennallisessa kemiassa ja sen visualisointi
- Stereokemia ja kiraalisuus
- Orbitaalit
- Kemiallinen sidos ja spektrit
- Kemiallinen reaktio
- Simulaatiot kemian opetuksessa
- Kurssipalaute

Vuoden 2008 kurssin tavoitteena oli, että opiskelija

- ymmärtää kemian mallien erilaisia luonteita, niiden rooleja sekä niiden käyttöä kemiassa ja kemian opetuksessa,
- osaa käyttää erilaisia malleja kemian opetussuunnitelman perusteiden mukaisten keskeisten käsitteiden visualisoinnissa,
- ymmärtää kemian visualisointia ja sen roolia erilaisten mallien esittämisessä,
- osaa hyödyntää laskennallista kemiaa kemian oppimisen tukena koulussa,
- osaa käyttää erityisesti tieto- ja viestintätekniikkaa kemian mallien visualisoinnissa ja mielekkäästi kemian opetuksessa ja
- saa innostusta ja elämyksiä aiheesta kouluopetukseen.

Kurssin arvioinnissa etätehtävät ja luennot käsittivät 20 % arvosanasta ja projektityö 80 %. Kurssi arvosteltiin asteikolla hyväksytty-hylätty, 1-5.

5.2.1.5.1.2 Historiallisen mallin analyysi

Aineistolähtöisen sisällönanalyysin mukaan opiskelijat kokivat vuonna 2008 kurssin pääosin onnistuneeksi (ks. taulukko 5.2.1.5.1.2). Kurssilaiset arvostivat erityisesti käytännön painotusta ja opetuksen suoraa siirrettävyyttä omaan opetukseen ($f_{\text{vahvuus}} = 7$). Kurssin etätehtäviä pidettiin mielenkiintoisina, ja niiden koettiin tukevan luentoja erinomaisesti. Opiskelijat näkivät etätehtävissä myös kehittämiskohteita, esimerkiksi teorian rinnalle tulisi lisätä käytännön harjoituksia ja toteutusta kehittää ohjeistuksen osalta ($f_{\text{vahvuus}} = 7$; $f_{\text{kehittävää}} = 15$). Kurssin luennoitsijaa pidettiin pääosin erinomaisena ja luentojen teoreettista tasoa kurssille sopivana, mutta osa koki myös luennoitsijan kyselevän opetustyylin ahdistavaksi ja teoreettisen tason kurssin tavoitteisiin verrattuna liian korkeaksi ($f_{\text{vahvuus}} = 14$; $f_{\text{kehittävää}} = 7$). Kurssin mallinnusharjoituksia pidettiin valtaosin hyvinä, ja kurssin käytännön painotusta pidettiin hyödyllisenä. Opiskelijat kokivat harjoitusten aiheiden olevan mielenkiintoisia ja ohjauksen olevan hyvin toteutettua, mutta toisaalta harjoituksiin toivottiin yksityiskohtaisempia teknisiä ohjeita, jolloin uuden ohjelmiston käyttäminen ja opetuksen seuraaminen helpottuisi ($f_{\text{vahvuus}} = 11$; $f_{\text{kehittävää}} = 6$).

Kurssin antoisimpana osiona pidettiin projektityötä ($f_{\text{vahvuus}} = 14$; $f_{\text{kehittävää}} = 5$). Sen katsottiin tarjoavan mielekkäitä haasteita, joista selviämiseksi opiskelijoiden tuli hyödyntää kurssilla opittuja tietoja ja taitoja monipuolisesti. Oppilasryhmävierailun myötä projektityön koettiin kehittävän erityisesti ammatillista osaamista, joka tulevaisuudessa tukisi molekyylihallinnuksen siirtymistä osaksi omaa opetusta. Osa opiskelijoista toivoi kuitenkin lisää ohjausta projektityön suunnitteluun ja oppilasryhmävierailuiden koordinoinnin kehittämistä niin, että opiskelijat saisivat oppilasvierailun aiheen aikaisemmin kurssilla ja siinä ei enää kurssin aikana tapahtuisi muutoksia.

Taulukko 5.2.1.5.1.2. Vuoden 2008 kurssipalautteen mukaan kurssin onnistuneet ja kehitettävät osa-alueet, ($N_{\text{vastaajat}} = 18$; $N_{\text{vahvuudet}} = 54$; $N_{\text{kehitetävää}} = 35$)

Kurssin vahvat osa-alueet			Yhdistävä luokka	Kurssin kehitettävät osa-alueet		
Alaluokka	Yläluokka (f)	f		f	Yläluokka (f)	Alaluokka
Ei tenttiä	Arviointiperusteet: <i>Opiskelija ilmaisee arviointiperusteiden olleen kurssin vahvuus. (1)</i>	1	Arviointi	2	Arviointiperusteet: <i>Opiskelija ilmaisee kurssin arviointiperusteiden tarvitsevan kehittämistä (2)</i>	- Arviointiperusteita ei ilmoitettu kurssin alussa - Etätehtävillä liian vähän painoarvoa
- Artikkelit sopivan pituisia - Artikkelit hyvin valittu, liittyivät läheisesti luentoihin - Artikkelit mielenkiintoisia	Etätehtävien laatu ja määrä: <i>Opiskelija ottaa huomioon positiivisessa palautteessaan etätehtävien laadun tai määrän. (4)</i>	7	Etätehtävät	15	Etätehtävien laatu, määrä ja toteutus: <i>Opiskelija ilmaisee kurssin etätehtävien laadun, määrän tai toteutuksen tarvitsevan kehittämistä (15)</i>	- Osa tylsiä tai liian rajoittavia - Osa hyödyttömiä - Liikaa - Enemmän käytäntöön pohjautuvia - Liian työläitä tai lyhyt työaika - Epäselvä ohjeistus - Mallivastaukset puuttuivat - Liian pitkiä artikkeleita
- Saivat opiskelijan ajattelemaan omasta näkökulmasta - Pohjustivat seuraavan luennon - Helpottivat luennon seuraamista - Oppikirjojen haasteisiin ja mahdollisuuksiin tutustuminen	Etätehtävien vaikutus oppimiseen: <i>Opiskelija kuvailee etätehtävien vaikutuksen oppimiseen olleen yksi kurssin vahvuus. (3)</i>					
- Asiaan perehtynyt - Kiinnostunut - Innostunut - Hyvät tietokonetaidot - Huumorintaju - Havainnollistava - Luennointitapa sai ajattelemaan	Luennoitsijan ominaisuudet ja opetustyyli: <i>Opiskelija ilmaisee luennoitsijan ominaisuuksien tai opetustyylin olleen kurssin vahvuus. (5)</i>	5	Luennoitsija	6	Luennoitsijan opetustyyli epäselvä: <i>Opiskelija ilmaisee luennoitsijan opetustyylin olleen kurssin kehitettävä osa-alue (6)</i>	- Luennoitsija teki liikaa kysymyksiä eikä antanut oikeita vastauksia
- Kattavia - Mielenkiintoisia - Sopiva teorian taso - Selkeitä - Hyviä yleisesti - Hyvät materiaalit - Ajattelua herättäviä	Luentojen laatu ja vaikutus: <i>Opiskelija kommentoi luentojen soveltuvuutta tai vaikutusta. (9)</i>	9	Luennot	1	Luentojen soveltuvuus: <i>Opiskelija ilmaisee kurssin luentojen tarvitsevan lisää kehittämistä (1)</i>	- Liian teoreettisia

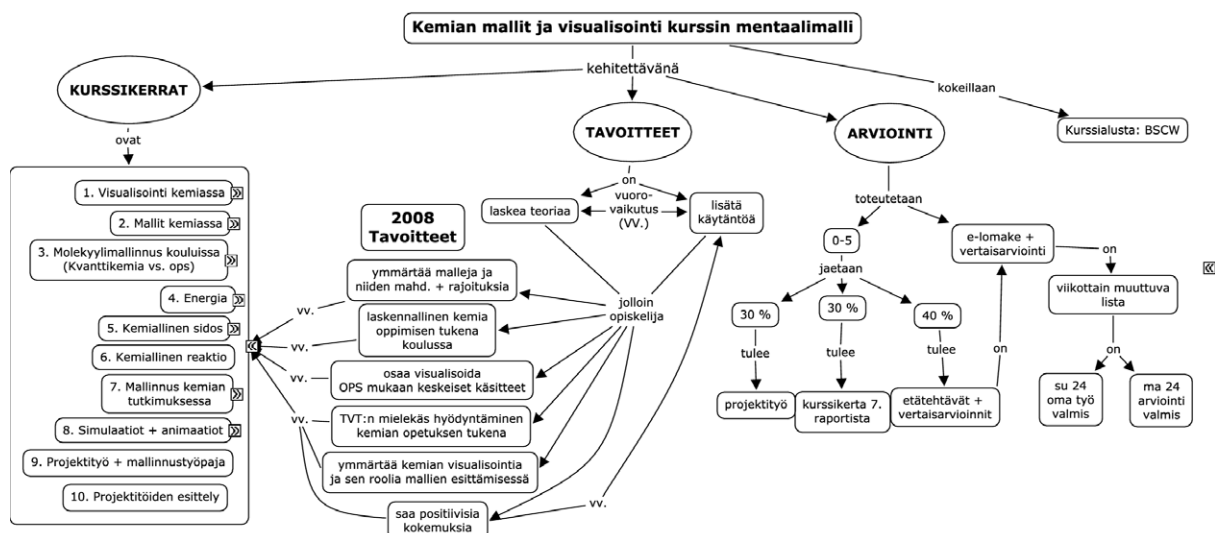
- Paljon tietokoneharjoituksia - Painotus käytännössä - Mielenkiintoisia	Mallinnusharjoitusten laatu ja määrä: <i>Opiskelija ilmaisee mallinnusharjoitusten määrän tai laadun olleen kurssin vahvuus. (4)</i>	11	Mallinnus-harjoitukset	6	Mallinnusharjoitusten laatu ja määrä: <i>Opiskelija ilmaisee kurssin mallinnusharjoituksien laadulliselle tai määrälliselle kehittämiselle olevan tarvetta(3)</i>	- Enemmän käytännön harjoituksia - Enemmän itsenäisiä harjoituksia - Mallinnusharjoitukset joka opetusasteelle
- Tukea ohjelmistojen käyttöön - Ohjelmistojen esittely - Mallinnusohjelmistoihin tutustuminen - Mielenkiintoista - Hyödyllistä	Mallinnusohjelmistoihin tutustuminen ja niiden käyttö: <i>Opiskelija ilmaisee mallinnusohjelmistoihin tutustumisen tai niiden käytön olleen kurssin vahvuus. (7)</i>				Harjoituksien ohjeistus ja tukeminen: <i>Opiskelija ilmaisee tarvitsevänsä lisää tukea tai tarkempaa ohjeistusta mallinnusharjoitusten suorittamiseen (3)</i>	- Mallinnusharjoituksiin tarkemmat ohjeet - Tutorhetki käytännön oppimisen tukemiseen
- Luovuutta vaativa - Mielekäs - Yhdistää tiedot ja taidot monipuolisesti	Opiskelijoiden kokemukset projektityöstä: <i>Opiskelija ottaa huomioon positiivisessa palautteessaan projektityön tuomat kokemukset. (2)</i>	14	Projektityö	5	Oppilasvierailujen koordinointi: <i>Opiskelija ilmaisee oppilasvierailujen nykyisten koordinoitimenetelmien olleen kurssin heikkous (3)</i>	- Varausjärjestelmän uudistaminen
- Kuva mallinnustuokioon tarvittavista resursseista - Käytännön kokeilumahdollisuus - Positiivinen kokemus	Oppilasvierailun vaikutus oppimiseen: <i>Opiskelija kuvailee oppilasryhmän vaikutusta oppimiseen. (6)</i>					
- Suunnittelussa oppi käyttämään mallinnusohjelmistoja - Projektityö tuki ammatillista kasvua - Käytännön harjoittelumahdollisuus	Projektityön vaikutus oppimiseen: <i>Opiskelija kuvailee projektityön vaikutuksen oppimiseen olleen yksi kurssin vahvuuksista. (6)</i>				Projektitöiden ohjaaminen: <i>Opiskelija ilmaisee tarvitsevänsä lisää tukea tai tarkempaa ohjeistusta projektityön suorittamiseen (2)</i>	- Enemmän ohjausta projektityöhön - Projektitöiden aihe oppilasryhmältä
- Tietoa mallinnuksen ja mallinnusohjelmistojen hyödyntämisestä oppitunnilla - Tietoa mallinnuksen opettamisesta - Tiedot ja taidot siirrettävissä omaan opetukseen - Tietoa visualisoinneista oppilaan näkökulmasta	Oman työn tukeminen: <i>Opiskelija ilmaisee jonkin seikan antaneen hyötyä oman työn tukemiselle. (7)</i>	7	Siirrettävyys	-	-	-
Kappa=0,83					Kappa=0.78	

5.2.1.5.1.3 Sisäiset mallit

Tutkijat rakensivat kolmenlaisia sisäisiä malleja. Tutkija 1:n sisäinen malli oli käsitekarttamuodossa, tutkija 2:n puhemuodossa ja tutkija 3:n kirjoitetussa muodossa. Tutkijan 1 käsitekartta valittiin visuaalisen muotonsa vuoksi yhteiseksi työstömalliksi (ks. kuva 5.2.1.5.1.3).

Tutkija 1 keskittyi kehittämään etätehtävien arviointia helpottavaa opetusteknologiaa. Hänen toimiessaan kurssilla assistenttina vuonna 2008 kurssilaisten palauttamien etätehtävien viikoittainen määrä oli erittäin suuri. Vuoden 2008 kurssille osallistui 38 opiskelijaa. Opiskelijat palauttivat viikoittain etätehtävät, joiden pituudet vaihtelivat opiskelijakohtaisesti 1-10 sivun välillä. Assistentille oli varattu tehtävien korjaamiseen yksi työpäivä, jolloin etätehtävien laadukas korjaaminen ja palautteenanto eivät yhdelle assistentille olleet mahdollisia.

Tämän haasteen ratkaisemiseksi tutkija 1 ehdotti, että kurssilla testattaisiin Helsingin yliopiston tilastotieteen laitoksella käytettävää vertaisarviointimenetelmää, jossa kurssilaiset arvioisivat toistensa etätehtävät valmiiden ohjeiden mukaisesti verkkolomakkeella. Uusi teknologia mahdollistaisi suurien arvosanamäärien nopean hallinnoimisen, mikä osaltaan vähentäisi opettajien arviointiin käyttämää aikaa (vrt. Joutsenvirta & Vehkalahti, 2005). Muutos tarkoitti myös kurssialustan uudentyypisen käyttöideologian omaksumista. Aikaisemmin kurssilla oli käytetty verkko-oppimisympäristöjä opettajajohtoisesti, jolloin opettajat rakensivat sisällön, hoitivat viestinnän ja tehtävien arvioinnin. Tällöin opiskelijat seurasivat kurssin etenemistä ilman ylläpitäjän käyttöoikeutta. Vertaisarviointijärjestelmän mahdollistamiseksi opiskelijoiden oikeuksia tulisi lisätä, jotta he pääsisivät näkemään toistensa töitä ja pystyisivät luomaan ja hallinnoimaan sisältöä. Näiden ominaisuuksien aikaansaamiseksi tutkija 1 ehdotti kurssialustaksi Basic Support for Cooperative Work (BSCW) -ryhmätyöalustaa, jonka vastaavanlaisesta hyödyntämisestä on niin ikään positiivisia kokemuksia tilastotieteen laitokselta Helsingin yliopistosta (ks. Joutsenvirta & Vehkalahti, 2005; Vehkalahti, 2004).



Kuva 5.2.1.5.1.3. Tutkijan 1 sisäinen malli käsitekarttamuodossa

Tutkija 2 keskittyi kehittämisessään kurssin sisältöjen ja tavoitteiden uudistamiseen. Hän ehdotti julkistetussa mallissaan esimerkiksi simulaatiokurssikerran poistamista ja integroimista kemian ilmiöitä käsitteleville kurssikerroille sekä opetussuunnitelmien perusteiden määrittelemien tavoitteiden tukemiseen tähtäävän opetuksen kirjaamista kurssin tavoitteisiin. Hänen julkistettuun malliinsa sisältyi myös kurssiin liittyvän tutkimuksen suorittaminen, jolloin tutkittaisiin opiskelijoiden visualisointitaitojen kehittymistä kurssin edetessä.

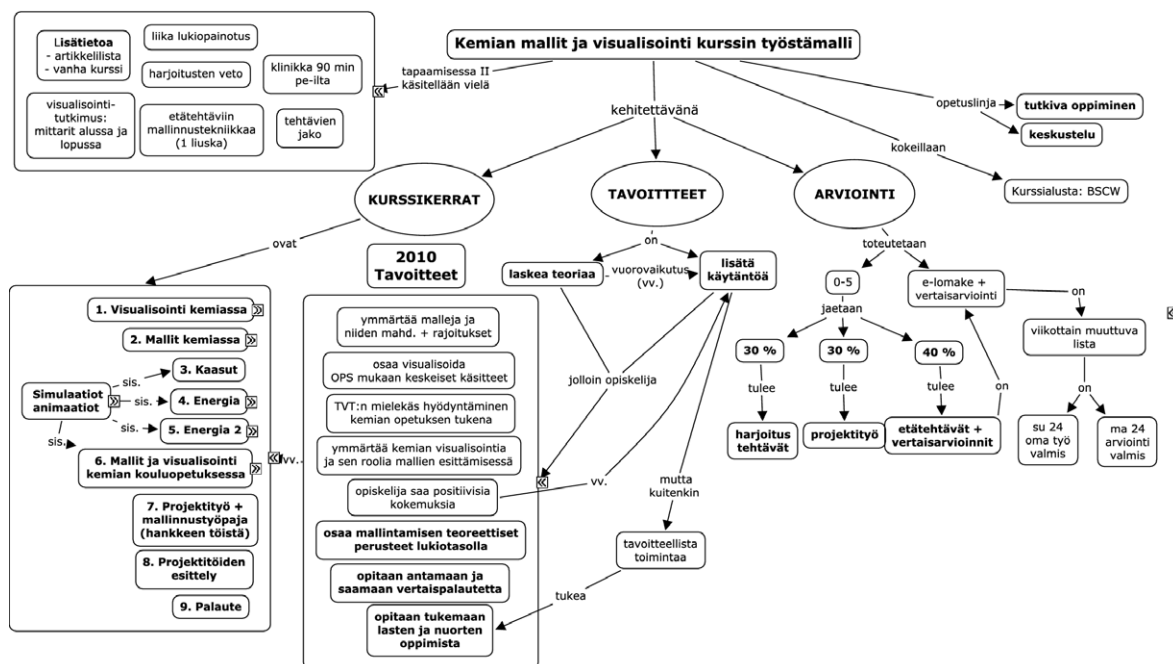
Tutkija 3 keskittyi käytännön lisäämisen ja opiskelijoiden projektitöiden ohjauksen kehittämiseen historiallisen mallin esittämien haasteiden mukaisesti. Hän ehdotti, että käytännön harjoitusten määrää pystyttäisiin kurssilla lisäämään viikoittaisten mallinnusharjoitusten avulla. Mallinnusharjoitusten tueksi hän ehdotti viikoittaista mallinnusklinaa, jossa opiskelijat saivat tehtävien ratkaisemiseen tarvittaessa tukea toisiltaan ja kurssin opettajilta. Projektitöiden ohjaamista tutkija 3 ehdotti kehittävänsä oman henkilökohtaisen panostuksensa myötä.

5.2.1.5.2 Kurssiin tehdyt muutokset

Ensimmäisessä suunnittelutapaamisessa tutkijat ryhtyivät työstämään yhteisymmärrystä julkistettujen mallien pohjalta. Kehittämisen tuloksena kurssiin tehtiin sisältöjä, tavoitteita ja rakenteita koskevia muutoksia, muun muassa käytäntöä lisättiin ja arviointimenetelmiä uudistettiin (ks. taulukko 5.2.1.5.2 ja vertaa kuvat 5.2.1.5.1.3, 5.2.1.5.2a ja b).

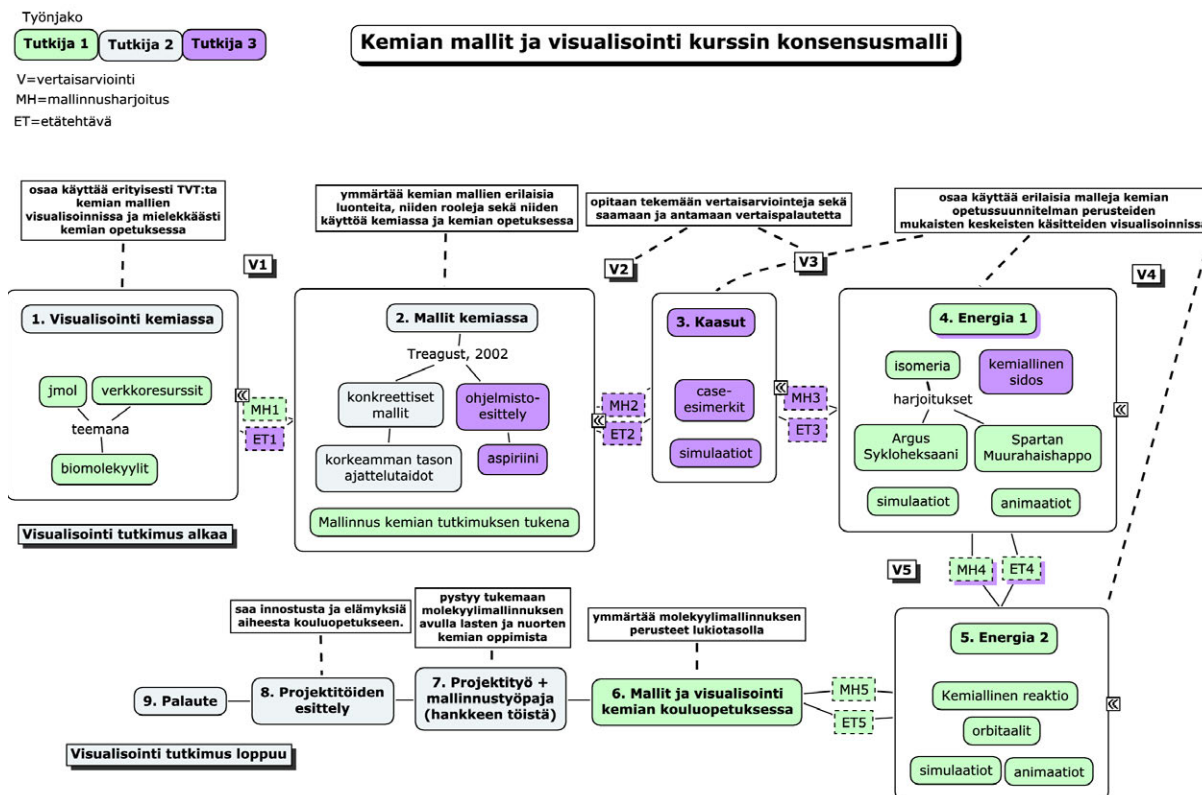
Taulukko 5.2.1.5.2. Tutkijoiden ehdottamat muutokset ja niiden perustelut tai tavoiteltu vaikutus

Esittäjä	Muutos	Perustelu/tavoiteltu vaikutus
Tutkija 1	- Etätehtävien vertaisarviointi e-lomakkeiden avulla	- Kurssiassistenttien työ määrän vähentäminen - Opiskelijat oppivat saamaan ja antamaan vertaispalautetta (kirjattiin kurssin tavoitteisiin) - Verkostoitumisen mahdollisuus paranee - Positiivisten kokemusten luominen
Tutkija 1	- Siirtyminen Blackboard-kurssialustasta BSCW:hen	- Opiskelijoiden oikeuksien helpompi hallinnointi - Kevyemmän kurssialustan kokeileminen - Kurssiassistenttien työ määrän vähentäminen
Tutkija 2	- Kurssin sisältöjen uudelleenjärjestely - Simulaatioiden integroiminen muihin kurssikertoihin - Ilmiöiden käsittely vahvemmin energiateeman alla	- Simulaatioiden merkitys mallinnustyökaluna yleisesti, aikaisemmin esitelty erillisenä osiona, ja opiskelijat ovat toivoneet enemmän - Opiskelijoiden olisi helpompi ymmärtää kurssin koostumusta - Opiskelijat ymmärtäisivät energian merkityksen kemiassa paremmin
Tutkija 2	- Visualisointitutkimus	- Opiskelijoiden visualisointitaitojen kehittymisen tutkiminen kurssin aikana
Tutkija 3	- Käytännön lisääminen - Viikoittaiset käytännönharjoitukset - Viikoittainen mallinnusklippa - Etätehtävien määrän vähentäminen	- Opiskelijat ovat toivoneet lisää käytännön harjoituksia, muutoksen tavoitteena on luoda opiskelijalle positiivisia kokemuksia - Mallinnusklippauudistuksen myötä etätehtävien määrää tulisi laskea, ettei opiskelijoiden työ määrä nouse liian korkeaksi - Opiskelijat saavat enemmän valmiista opetusmateriaalia ja pystyvät sen kautta tukemaan molekyylihallinnuksen avulla lasten ja nuorten oppimista (kirjattiin kurssin tavoitteisiin)
Tutkija 3	- Projektitöihin liittyvän ohjauksen lisääminen	- Kurssiassistenttien määrän lisääminen mahdollistaa projektitöihin liittyvän ohjauksen lisäämisen



Kuva 5.2.1.5.2a. Julkinen työstömalli, tutkijan 1 sisäiseen malliin tehdyt muutokset on visualisoitu lihavoineilla

Toisessa ja viimeisessä suunnittelutapaamisessa ennen kurssia tutkijat muodostivat vielä yhteisymmärryksen alustavasta opetusta koskevasta työnjaosta ja viimeistelivät kurssin tavoitteita, rakennetta ja etenemistä visualisoivan yhteisymmärrysmallin (ks. kuva 5.2.1.5.2b).



Kuva 5.2.1.5.2b. Yhteisymmärrysmalli kurssin tavoitteista, rakenteesta ja etenemisestä

5.2.1.6 Yhteenveto ja pohdinta

Kehittämistutkimuksen ensimmäisen osan tavoitteena oli a) selvittää, millaisia tarpeita ja mahdollisuuksia kurssin kehittämisellä on ja b) raportoida kehittämisen tuloksena kurssiin syntyneet muutokset.

Kehittämisen tarpeet ja mahdollisuudet selvitettiin analysoimalla aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä kurssin historiallinen viitekehys ja edellisen kurssikerran opiskelijapalaute. Historiallisen kurssimallin mukaan opiskelijat pitivät kurssia pääosin onnistuneena. Kurssin mahdollisuuksiksi koettiin ensinnäkin opetusjärjestelyt, joissa luennon aihealueeseen tutustuttiin etukäteen etätehtävän muodossa ja teoriaa tuettiin käytännön mallinnusharjoituksilla, ja toiseksi kurssilla opettajien taitojen ja tietojen koettiin siirtyvän omaan opetukseen. Molekyylimallinnuksen diffuusiota tuettiin ryhmissä suoritettavalla projektityöllä, johon sisältyi mallinnuspajan ohjaaminen autenttisessa opetustilanteessa (vrt. Pernaa, 2010 ja Rogers, 1995). Kurssin haasteiksi opiskelijat mainitsivat myös opiskelijoiden

ohjauksen määrän ja toivoivat muun muassa lisää käytännön mallinnusharjoituksia. Myös etätehtävien ja mallinnusharjoitusten tehtävänannot ja työskentelyohjeistukset koettiin haasteiksi.

Kehittämisestä vastasivat kolme tutkijaa, jotka toimivat myös kurssin opettajina. Jokaisella kehittäjällä oli erilainen kokemus kurssin suhteen, minkä vuoksi kehittäjät tarkastelivat kehittämistä hyvin erilaisista näkökulmista. Tutkijan 1 uusin kokemus kurssista oli kurssiassistenttina toimiminen, joka koettiin suurten opiskelija- ja tehtävämäärien vuoksi hyvin työlääksi. Kurssin opettajien työmäärän vähentämiseksi tutkija 1 keskittyi kehittämään käytettävää opetusteknologiaa. Tutkija 2 oli nähnyt kurssin koko elinkaaren, ja hänen kehittämismielenkiintonsa suuntautui koko elinkaarta tarkasteltaviin muutoksiin (kurssin tavoitteiden ja sisältöjen uudistaminen). Tutkija 3 oli viimeksi kurssilla opiskelijana, ja hän keskittyi kehittämään opiskelijoiden ohjaamista ja käytännön harjoituksia historiallisen kurssimallin ja omien kokemusien pohjalta. Erilaisten kehittämiskontekstien myötä myös kehittäjät oppivat kehittämisen aikana uudentyyppistä ajattelua, mikä on yksi kehittämistutkimuksen vahvuuksista (vrt. Edelson, 2002).

Luotettavuustarkastelun näkökulmasta tutkijat pystyivät menneisyyden avulla luomaan luotettavan kuvan kurssin mahdollisuuksista ja haasteista. Analyysissä hyödynnettiin metodista triangulaatiota (vrt. Tuomi & Sarajärvi, 2009, 143-149). Historiallisen kurssimallin analyysissä käytettiin ainoastaan primäärilähteitä, ja tämän mallin sisällönanalyysin luokat varmistettiin vertaisluokittelun avulla. Vertaisluokitteluista saatujen kappa-arvojen perusteella analyysiä voidaan pitää hyvin luotettavana ($\text{kappa}_{\text{mahdollisuudet}} = 0,83$; $\text{kappa}_{\text{haasteet}} = 0,78$) (vrt. Sim & Wright, 2005). Lisäksi tutkijoiden henkilökohtainen kokemus kurssista varmisti kehittämispäätösten järkevyyden (vrt. Cohen et al. 2007, 191-204).

Kehittämistutkimuksen myötä kurssiin tehtiin logistisia, sisällöllisiä ja rakenteellisia muutoksia: esimerkiksi kurssin arviointimenetelmät, sisältöjen jaottelu ja tehtävät uudistettiin. Uudistuksien myötä myös kurssin tavoitteisiin kirjattiin vertaisarviointia ja molekyylihallinnuksen diffuusiota tukevia tavoitteita. Tutkimusperustaisen opetuksen näkökulmasta kurssiin ei tehty merkittäviä uudistuksia, vaan se toteutettiin edellisen vuoden tapaan tutkimusorientoituneesti (prosessien ja tulosten painotus on yhtä suuri), tutkimuspohjaisesti (opettaja–opiskelija -rooli on minimoitu) (vrt. Griffiths, 2004) ja tutkimustuutoroidusti (opetus toteutetaan artikkelien ja reflektoinnin avulla) (Healy, 2005).

Kehittämistutkimuksen luotettavuustarkasteluun reflektoiden tutkimuksessa kiinnitettiin huomiota erityisesti yhteisymmärrykseen johtavien ratkaisujen ja kehittämistutkimuksen etenemisen raportointiin (mallin kehittyminen) sekä visualisointiin (ontologiset käsitekartat), jotka ovat kehittämistutkimuksen suurimpia haasteita. Mallin kehittymiseen pohjautuva yhteisöllinen kehittämistutkimus mahdollisti hallitun kehittämiskontekstin, joka sisälsi useita syklejä ja yhteisymmärryksen rakennusvaiheita, mikä myös parantaa tutkimuksen luotettavuutta (vrt. Bell et al. 2004; Dede, 2004; Design-Based Research Collective, 2003; Edelson, 2002).

Tutkimuksen ensimmäisen vaiheen perusteella voidaan todeta malliteoriaan

pohjautuvan yhteisöllisen kehittämistutkimuksen soveltuvan hyvin kurssien kehittämiseen korkeakouluopetuksessa. Tämä tukee myös tutkimusperustaisen opettajankoulutuksen tavoitteita (vrt. Aksela, 2010; Jakku-Sihvonen & Niemi, 2006). Tutkimus osoitti myös, että mallikäsitteen ontologisen statuksen ja käsitekarttojen hyödyntäminen kehittämistutkimuksen dokumentoinnissa mahdollistaa kehittämistutkimuksen monitahoisen raportoinnin, jonka avulla voidaan parantaa kehittämistutkimuksen luotettavuutta.

5.2.2 Vaihe 2: Kehittämisen arviointi

Kehittämistutkimuksen ensimmäinen vaihe loppui kehittämiskohteena olevan kurssin alkamiseen. Tutkimuksen toisessa vaiheessa arvioitiin ensimmäisessä vaiheessa suoritettua kehittämistyötä sekä kehitettyä malliteoriaan pohjautuvaa yhteisöllistä kehittämismallia.

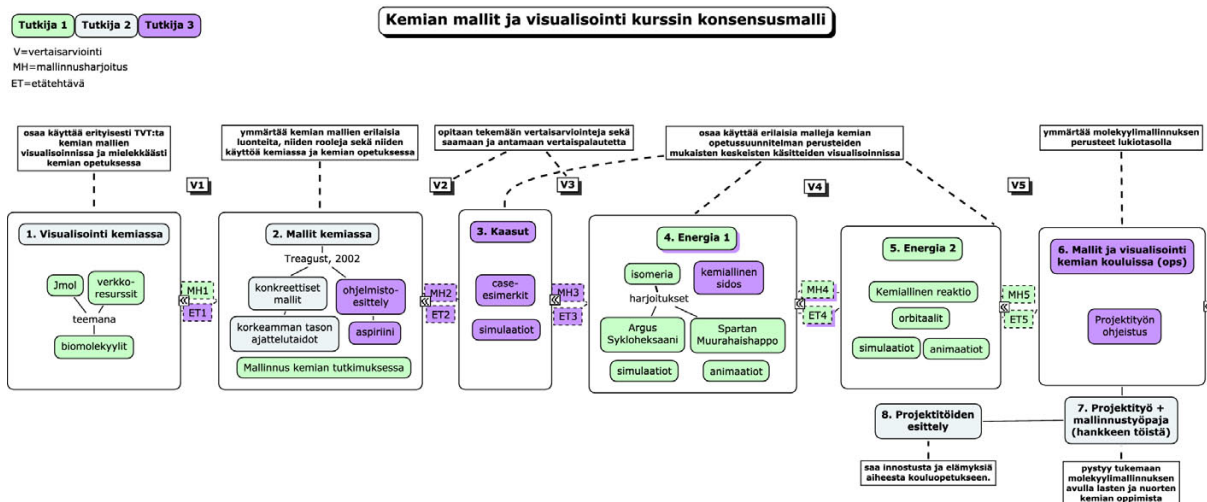
Kehittämistä arvioitiin formatiivisesti, summatiivisesti ja ulkoisesti. Formattiivinen ja summatiivinen arviointi kohdistui kehittämistuotoksen eli kehitetyn kurssin arviointiin. Formattiivinen arviointi on kurssin puolivälissä suoritettu väliarviointi, jossa opiskelijoita pyydettiin refleктоimaan kurssin ensimmäisen puoliskon onnistumista kurssin tavoitteiden näkökulmasta.

Summatiivinen arviointi oli kurssin päättöarviointi, jossa mitattiin kurssin tavoitteiden toteutumista ja opiskelijoiden käsityksiä aiheesta. Malleihin pohjautuva yhteisöllinen kehittämisprosessi arvioitiin ulkopuolisen tutkijan avulla. Ulkopuolinen tutkija haastatteli kaikki kehittäjät, joiden pohjalta arvioitiin mallipohjaisen kehittämistutkimuksen mahdollisuuksia ja haasteita. Tutkimuksen toista vaihetta ohjasivat tutkimuskysymykset:

1. Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita vuoden 2010 Kemian mallit ja visualisointi -kurssin kehittämisellä kemian aineenopettajaopiskelijoiden käsitysten mukaan on?
2. Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita malliteoriaan pohjautuvalla yhteisöllisellä kehittämistutkimuksella on korkeakouluopetuksen kurssien kehittämisessä?

5.2.2.1 Kehittämistuotoksen formatiivinen arviointi

Kehittäjät muodostivat ensimmäisen vaiheen päätteeksi visuaalisen yhteisymmärrysmallin kurssin tavoitteista, rakenteesta ja etenemisestä (ks. kuva 5.2.1.5.2b). Mallia hyödynnettiin kurssin puolivälissä suoritettun väliarvioinnin (empiirinen ongelma-analyysi) arviointirunkona. Mallia kehitettiin ennen väliarviointia. Alkuperäinen yhteisymmärrysmalli visualisoi tutkijoiden välisen yhteisymmärryksen. Sen katsottiin alkuperäisessä muodossaan olevan väliarvioinnissa hyödynnettäväksi liian monimutkainen, ja se onkin esimerkiksi Gilbertin et al. (2000) mukaan yhteisymmärrysmalleille tyypillistä. Väliarvioinnin tarpeiden vuoksi mallista luotiin opetusmalli yksinkertaistamalla sitä (ks. kuva 5.2.2.1).



Kuva 5.2.2.1. Väliarvioinnissa käytetty opetusmalli

Väliarviointi suoritettiin laadullisena tapaustutkimuksena. Opiskelijoille näytettiin pelkistettyä yhteisymmärrysmallia videotykillä, ja heitä pyydettiin arvioimaan avoimella vastauspaperilla kurssin onnistuneita ja kehitettäviä asioita siten, että kurssi tukisi sille asetettuja tavoitteita paremmin. Väliarviointiin osallistui 18 opiskelijaa. Yhteensä 76 avoimen vastauksen kokoinen aineisto analysoitiin teorialähtöisen sisällönanalyysin metodein (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 113-117). Analyysirunkona käytettiin tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa muodostettuja uusia kurssitavoitteita:

1. **Mallien rooli kemiassa:** Ymmärtää kemian mallien erilaisia luonteita, niiden rooleja sekä niiden käyttöä kemiassa ja kemian opetuksessa.
2. **Keskeisten käsitteiden visualisointi:** Osaa käyttää erilaisia malleja kemian opetussuunnitelman perusteiden mukaisten keskeisten käsitteiden visualisoinnissa.
3. **Molekyylimallinnuksen teoreettiset perusteet:** Ymmärtää molekyylimallinnuksen perusteet lukiotasolla.
4. **Tieto- ja viestintätekniikan hyödyntäminen:** Osaa käyttää erityisesti TVT:aa kemian mallien visualisoinnissa ja mielekkäästi kemian opetuksessa.
5. **Molekyylimallinnus osana kemian opetusta:** Pystyy tukemaan molekyylimallinnuksen avulla lasten ja nuorten kemianoppimista.
6. **Metakognitiivisten tietojen ja taitojen kehittyminen:** Opitaan tekemään vertaisarviointeja sekä saamaan ja antamaan vertaispalautetta.
7. **Motivaation tukeminen:** Saa aiheesta innostusta ja elämyksiä kouluopetukseen.

5.2.2.2 Kehittämistuotoksen summatiivinen arviointi

Kurssin jälkeisessä palautetilaisuudessa suoritettiin toinen empiirinen ongelma-analyysi. Päätösarviointi suoritettiin laadullisena tapaustutkimuksena. Ennen palautetilaisuutta opiskelijoille lähetettiin sähköpostitse ennakkotietona suomenkieliset tiivistelmät kehittämistutkimuksesta (Edelson, 2002), mallikäsitteestä (Gilbert et al. 2000) ja innovaation diffuusioteoriasta (Rogers, 1995). Tämän tavoitteena oli antaa opiskelijoille teoreettisia työkaluja, joiden avulla he pystyisivät kokonaisvaltaisemmin tarkastelemaan omaa oppimistaan ja kurssin tavoitteita.

Kolmen tunnin mittainen palautetilaisuus alkoi seminaariosuudella. Siinä opiskelijat esittelivät ja opponoivat kurssitehtävinä suorittamiaan kehittämistutkimuksia (projektityö), joissa he olivat ryhmissä kehittäneet kontekstisidonnaisia molekyylihallinnus-oppimisympäristöjä. Seminaariosuuden jälkeen käytiin opettajan johdolla avoin palautekeskustelu, minkä jälkeen kurssin opiskelijat arvioivat kurssia tutkijoiden laatiman kyselylomakkeen avulla (Liite 3).

Palautekyselyyn vastasi 23 opiskelijaa, joista 11 oli miehiä ja 12 naisia. Vastaajista 18 opiskeli kemiaa pääaineena ja neljä toisena tai kolmantena opetettava aineena. Syventävän kurssin vaatimusten mukaisesti suurin osa opiskelijoista (N=19) oli suorittanut yli 180 opintopistettä. TVT-pohjaisen opetusinnovaation vastaanottamisen näkökulmasta 13 koki olevansa varhaisia omaksujia, seitsemän varhaista enemmistöä ja yksi totesi kuuluvansa myöhäiseen enemmistöön ja suhtautuvansa uusiin innovaatioihin skeptisesti.

Kyselylomake koostui viidestä mittarista: i) taustatiedot, ii) kurssin tavoitteet, iii) molekyylihallinnusinnovaation diffuusio, iv) kurssin kuormittavuus ja i) kurssin toimintatavat; mittarit sisälsivät yhteensä 25 osiota. Kysely sisälsi sekä avoimia että suljettuja osioita. Kurssin toimintatavat -mittari koostui avoimista osioista, joissa opiskelijoita pyydettiin tarkastelemaan kehittämistuotoksen onnistuneita ja kehitettäviä osioita. Avoimet osiot analysoitiin aineistolähtöisellä sisällönanalyysillä (Tuomi & Sarajarvi, 2009, 108-113).

Kyselyssä oli neljäntyyppisiä suljettuja osioita: 1) kurssin tavoitteiden täyttymistä mitattiin Likertin mitta-asteikolla (täysin eri mieltä = 1, jokseenkin eri mieltä = 2, ei samaa eikä eri mieltä = 3, jokseenkin samaa mieltä = 4 ja täysin samaa mieltä = 5), 2) kurssin kuormittavuutta selvitettiin kolmiportaisella järjestysasteikolla (liian vähän - sopiva - liikaa), johon oli mahdollista kirjoittaa tarvittaessa perusteluja, 3) taustatiedot kerättiin järjestysasteikolla ilman perustelujen mahdollisuutta ja 4) molekyylihallinnusinnovaation taitoja koskevaa diffuusiota tutkittiin järjestysasteikolla, jossa järjestettävät luokat pohjautuivat innovaation diffuusioteoriaan (vrt. Hall & Hord, 1987; Rogers, 1962), minkä lisäksi opiskelijoilla oli mahdollisuus perustella vastaustaan avoimeen vastausalueeseen.

5.2.2.3 Kehittämisprosessin ulkoinen arviointi

Malliteoriaan pohjautuvan yhteisöllisen kehittämistutkimuksen mahdollisuuksia ja haasteita arvioi ulkopuolinen tutkija. Kurssin loputtua tämä tutkija haastatteli semistrukturoidun haastattelun metodein kaikkia kolmea kehittäjää ja arvioi ensimmäisen vaiheen kehittämiskuvauksen (Pernaa et al. 2010). Haastattelun avulla pyrittiin tukemaan kehittämistutkimuksen kokonaisvaltaista otetta sisällyttämällä tutkimuksen kohteeksi myös kehittämisprosessi sekä samalla parantamaan suoritettujen tutkimusten luotettavuutta.

Ulkoisen arvioinnin tuloksia esiteltiin ESERA 2011 -konferenssissa. Esityksessä käsiteltiin käsitekarttojen mahdollisuuksia kehittämistutkimuksen koordinoinnin ja luotettavuuden tukena (ks. Vesterinen et al. 2011).

5.2.2.4 Tulokset

5.2.2.4.1 Uudistetun kurssin mahdollisuudet ja haasteet

5.2.2.4.1.1 Formatiivisen arvioinnin tulokset

Väliarvioinnin perusteella kurssin loppuosaan ei tehty muutoksia. Opiskelijat olivat pääosin tyytyväisiä kurssin alkuosaan ($f=40$), ja osa koki kurssin yleisesti innostavaksi ($f=5$). Esimerkiksi molekyylihallinnusohjelmistojen monipuolista tarkastelua ($f=18$), mallien hyödyntämistä kemian opetuksessa ($f=6$) ja lasten ja nuorten oppimisen tukena ($f=6$) pidettiin alkuosan vahvuutena (ks. taulukko 5.2.2.4.1.1).

(V 13) ”Olen oppinut käyttämään mallinnusohjelmia, ja niiden mahdollisuudet ovat konkretisoituneet merkittävästi. Tämän olen kokenut erittäin hyödylliseksi ja mielenkiintoiseksi. Olen oppinut myös arvioimaan sitä, missä yhteyksissä mallinnusta voi käyttää, vaikka erityisesti monimutkaisempien mallinnusten kanssa resurssit saattavat tulla vastaan. Lisäksi näen puutteita ja alueita, joilla mallinnusta ei vielä hyödynnetä tai ole mahdollista hyödyntää.”

(V 15) ”Kurssi liitti molekyylihallinnuksen hyvin opetussuunnitelmiin ja antoi valmiuksia käyttää malleja opetuksessa.”

Kurssiin ensimmäistä kertaa sisältyvien vertaisarviointien koettiin tarvitsevan paljon jatkokehittämistä. Opiskelijat kertoivat, etteivät he ymmärtäneet vertaisarviointien merkitystä ja että he kokivat ne haasteellisiksi ja turhauttaviksi. Yksi vastaaja kertoi niiden olevan myös hyödyllisiä.

(V 13) ”Vertaisarvioinnin tekeminen oli vaikeaa, koska tietty, jos kirjoitin parhaan mahdollisen tuotokseni itse, olen ajatellut omien kykyjeni rajoille. Vertaisen tekstistä

voi nähdä omia puutteita, mutta on ehkä vaikea hahmottaa kanssaopiskelijan hahmottamisen ongelmia, kun oppiminen itsellänikin on kesken.”

(V 17) ”Artikkelit olivat liian pitkiä, eikä niistä osannut kirjoittaa tarpeeksi lyhyesti, kun vertaisarvioinneissa sanottiin välistä että liian paljon tekstiä ja välistä sitä oli liian vähän.”

(V 10) ”Vertaisarviointien tekeminen, jotka laajensivat omaa tietämystä ja toi esille erilaisia näkökulmia, mitä ei itse tullut ajatelleeksi.”

Arvioidessaan TVT:n osuutta kurssissa opiskelijat painottivat ilmaisohjelmistoihin perustuvien mallinnusharjoitusten lisäämisen tärkeyttä ($f=20$). Heidän mukaansa tämä paremmin tukisi mallinnuksen siirtymistä kouluihin.

(V 1) ”Spartan kallis → käytettävyyys kouluelämässä ei kovin suuri, olisi ehkä voinut tehdä lisää Arguslabilla ja Chemskechillä.”

(V 17) ”Jotain ilmaisohjelmia olis voinu koulumaailmaa ajatellen olla enemmän.”

Taulukko 5.2.2.4.1.1. Kurssin vahvuus- ja kehittämisalueet väliarvioinnin mukaan, ($N_{\text{vastaajat}} = 18$; $N_{\text{vastaukset}} = 76$)

#	Yläluokka ja arvioitava tavoite	Vahvuus (f)	Kehitettävä (f)
1	Tieto- ja viestintätekniikan hyödyntäminen: Osaa käyttää erityisesti TVT:aa kemian mallien visualisoinnissa ja mielekkäästi kemian opetuksessa.	18	20
2	Mallien rooli kemiassa: Ymmärtää kemian mallien erilaisia luonteita, niiden rooleja sekä niiden käyttöä kemiassa ja kemian opetuksessa.	6	4
3	Molekyylimallinnus osana kemian opetusta: Pystyy tukemaan molekyylimallinnuksen avulla lasten ja nuorten kemianoppimista.	6	0
4	Motivaation tukeminen: Saa innostusta ja elämyksiä aiheesta kouluopetukseen.	5	0
5	Metakognitiivisten tietojen ja taitojen kehittyminen: Opitaan tekemään vertaisarviointeja sekä saamaan ja antamaan vertaispalautetta.	2	8
6	Keskeisten käsitteiden visualisointi: Osaa käyttää erilaisia malleja kemian opetussuunnitelman perusteiden mukaisten keskeisten käsitteiden visualisoinnissa.	2	2
7	Molekyylimallinnuksen teoreettiset perusteet: Ymmärtää molekyylimallinnuksen perusteet lukiotasolla.	1	2

* Kappa=0,81

5.2.2.4.1.2 Summatiivisen arvioinnin tulokset

Opiskelijoiden mukaan uudistettu Kemian mallit ja visualisointi -kurssi täytti sille asetetut kehittämistavoitteet oppimistavoitteiden näkökulmasta erinomaisesti (ks. taulukko 5.2.2.4.1.2a). Kurssin jälkeen opiskelijat kokivat ymmärtävänsä kemian mallien mahdollisuudet ja rajat kemian opetuksessa ($ka=4,7$; $s=0,86$) sekä pystyvänsä molekyyli mallinnuksen avulla tukemaan lasten ja nuorten oppimista ($ka\ 4,5$; $s=0,95$). He kokivat osaavansa hyödyntää erilaista TVT:aa mielekkäästi kemian opetuksen tukena ($ka=4,4$; $s=0,72$) ja saaneensa riittävät teoreettiset perusteet ($ka=4,2$; $s=0,89$), miten hyödyntää molekyyli mallinnusta opetussuunnitelman asettamien tavoitteiden mukaisesti keskeisten sisältöjen määrittelemien käsitteiden opettamisessa ($ka=4,2$; $s=1$).

Opiskelijoiden mukaan uudistettu kurssi tarjosi myös elämyksiä ja innosti molekyyli mallinnuksen käyttöön kouluopetuksessa ($ka=4,3$; $s=1,05$). Myös vertaisarviointeja koskeva tavoite täyttyi. Opiskelijat kokivat kurssin jälkeen pystyvänsä tukemaan molekyyli mallinnuksen käyttöä vertaisryhmässä ja refleктоimaan oppimisprosessia vertaistutosten avulla ($ka=4,0$; $s=0,77$).

Taulukko 5.2.2.4.1.2a. Kurssin opetustavoitteiden täyttyminen opiskelijoiden mukaan (N=23)

Väitteet:	f					ka	s
	Täysin eri mieltä	Jokseenkin eri mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Jokseenkin samaa mieltä	Täysin samaa mieltä		
Ymmärrän kemian mallien erilaisia luonteita, niiden rooleja sekä niiden käyttöä kemiassa ja kemian opetuksessa.	1	0	0	2	20	4,7	0,86
Pystyn molekyyli mallinnuksen avulla tukemaan lasten ja nuorten kemianoppimista.	1	0	1	6	15	4,5	0,95
Osaan käyttää TVT:aa kemian mallien visualisoinnissa ja mielekkäästi kemian opetuksessa.	0	1	0	11	11	4,4	0,72
Sain innostusta ja elämyksiä molekyyli mallinnuksesta kouluopetukseen.	1	1	1	8	12	4,3	1,05
Ymmärrän molekyyli mallinnuksen teoreettiset perusteet lukiotasolla.	0	2	1	11	9	4,2	0,89
Osaan käyttää erilaisia malleja kemian opetussuunnitelman perusteiden mukaisten keskeisten käsitteiden visualisoinnissa.	1	1	0	11	10	4,2	1,00
Pystyn tekemään vertais-arviointeja sekä saamaan ja antamaan vertaispalautetta.	0	1	3	13	6	4,0	0,77

Ennen kurssia 13 opiskelijaa etsi tietoa molekyyli mallinnuksesta tai valmistautui ottamaan sen käyttöön. Kolme kurssilaista koki lähtötasonsa olevan kehittämistasolla, mutta he eivät perustelleet tätä mitenkään. Viidelle molekyyli mallinnus oli ennestään tuttua (mekaaninen käyttö), ja kolmelle se tuli uutena asiana.

Kurssin aikana opiskelijoiden molekyylihallinnasta koskevat tiedot ja taidot nousivat pääosin kehittämisen tasolle (N=16). Kurssin jälkeen kolme kurssilaista kertoi molekyylihallinnuksen käytön olevan mekaanista ja kaksi kertoi luoneensa kurssin aikana yhteistyöverkostoja molekyylihallinnusinnovaation käytön ja kehittämisen tukemiseen. Kaksi opiskelijaa koki kurssin jälkeen vielä valmistautuvansa innovaation käyttöönottoon (ks. taulukko 5.2.2.4.1.2b). Näitä kahta vastausta tulee tarkastella varauksellisesti, sillä toinen vastaajista oli vastannut lähtötasonsa olleen kehittämistasolla, ja toinen taas vastasi vain murto-osaan kyselylomakkeen kysymyksistä.

Taulukko 5.2.2.4.1.2b. Molekyylihallinnusinnovaation eteneminen kurssin aikana yksilön näkökulmasta (N=23)

Ennen kurssia	Innovaation taito- ja tietotaso yksilötasolla	Kurssin jälkeen
3	Ei käyttöä: Ei tietoa, ei diffuusiota.	-
8	Orientoituminen: Innovaatiosta etsitään tietoa.	-
5	Valmistautuminen: Valmistaudutaan ottamaan innovaatio käyttöön.	2
4	Mekaaninen käyttö: Innovaatiota käytetään mekaanisesti tehtävän suoritukseen.	3
-	Rutinoituminen: Käyttäminen on rutiininomaista, eikä suuria muutoksia käytäntöihin ole suunnitteilla.	-
3	Kehittäminen: Innovaatiota kehitetään paremman tuloksen aikaansaamiseksi.	16
-	Yhteistyö: Innovaatiota kehitetään verkostoitumisen kautta.	2
-	Uudistaminen: Innovaation voimakas kehittäminen ja soveltaminen.	-

(V8) ”Yleensä vastustan koulumaailmaa koskevia muutoksia. Pidän niitä huuhaana ja ajan hukkana. Olen äärimmäisen konservatiivinen. Mallinnuksesta tosin innostuin. Aion käyttää sitä opetuksessa, haluan kehittää oppimisympäristöjä. Käyttää malleja myös muissa aineissa → kurssista kipinä myös animoinnin kokeiluun.”

(V12) ”Kurssin alussa olin innostunut ja kiinnostunut molekyylihallinnuksesta. Kurssin lopussa tietojeni ja taitojeni lisääntytyä haluan käyttää molekyylihallinnusta enemmän kemian opetuksessa.”

(V14) ”Kehitän jatkossa omaan peruskoulun / lukion opetukseen soveltuvaa, molekyylihallinnusta hyödyntävää oppimateriaalia. En siis tyydy enää pelkästään valmiisiin materiaaleihin ja yksinkertaisiin ratkaisuihin.”

Opiskelijat katsoivat uudistetun kurssin kuormittavuuden olevan pääosin kohdallaan, mutta etätehtäviin liittyviä tutkimusartikkeleita olevan liikaa (N=10). Myös käsiteltäviä ilmiötä tulisi olla lisää, ja opettajien tulisi antaa arvioitavista suorituksista enemmän kirjallista palautetta (ks. taulukko 5.2.2.4.1.2c).

Taulukko 5.2.2.4.1.2c. Kurssin kuormittavuus opiskelijoiden mukaan

Väite	Liian vähän (f)	Sopivasti (f)	Liikaa (f)	N
Kurssista sai opintopisteitä	3	19	-	22
Käsiteltäviä ilmiöitä oli	5	16	-	21
Luentoja oli	2	20	-	22
Ohjausta sai	1	21	-	22
Palautetta sai	5	17	-	22
Tietokonepohjaisia mallinnusharjoituksia oli	4	17	1	22
Tutkimusartikkeleita oli	1	11	10	22

(V 12) ”Tutkimusartikkeleita oli mielestäni turhan paljon, koska koin, että niiden käsittelystä ja lukemisesta saatava hyöty ei ollut niin suuri kuin työmäärä, jota siihen meni. Toisaalta olisin käyttänyt enemmän ja mieluummin aikaa mallinnustehtäviin ja vaikka useamman ilmiön käsittelyyn.”

Avointen osioiden mukaan opiskelijat kokivat vertaisarviointien mahdollisuuksiksi vertaisreflektointimahdollisuuden (f=4) ja yleisen arviointikokemuksen (f=3). Lisäksi niiden koettiin antavan uutta näkökulmaa omaan työskentelyyn (f=3). Suurimpina haasteina esiin nousivat vertaisarviointien tekninen toteuttaminen ja tehtävän vaativuus. Opiskelijat toivoivat vertaisarviointeja kirjallisiksi (f=5), kun käytössä oleva teknologia mahdollisti kirjallisen käsittelyn pelkästään kurssin opettajalle. Opiskelijat työskentelivät vertaisarvioinneissa pareittain, ja palaute annettiin suullisesti. Lisäksi vertaisarviointi koettiin yleisesti todella haasteelliseksi. Osa vastaajista ei katsonut saavansa vertaisarvioijaltaan riittävästi rakentavaa palautetta (f=4) (ks. taulukko 5.2.2.4.1.2d).

Taulukko 5.2.2.4.1.2d. Vertaisarvioinnin mahdollisuudet ja kehittämisosa-alueet ($N_{\text{vastaajat}} = 23$; $N_{\text{vahvuudet}} = 10$; $N_{\text{kehitettävää}} = 14$)

#	Alaluokka	f
Vahvuus		
1	Vertailumahdollisuus: Muiden työskentelyyn reflektointi tuki oppimista.	4
2	Arviointikokemus: Vertaisarvioinneista saatava kokemus oli hyödyllistä	3
3	Uusi näkökulma omaan työhön: Opiskelijan mukaan vertaisarviointi toi uutta näkökulmaa omaan työhön	3
Kehitettävää		
4	Palaute tekijälle kirjallisena: Vertaisarvioinnin palaute tulisi saada kirjallisena	5
5	Ei riittävästi rakentavaa palautetta: Opiskelija tunsi, ettei vertaisarvioinneista saanut riittävästi rakentavaa palautetta	4
6	Liian monta: Opiskelijan mukaan vertaisarviointeja oli liikaa	2
7	Ei ymmärtänyt tavoitetta: Opiskelija koki, ettei ymmärtänyt vertaisarviointien tavoitteita	1
8	Ohjeistus puutteellinen: Opiskelijan mukaan vertaisarviointien ohjeistus oli puutteellinen	1
9	Pakollinen: Vertaisarvioinnin pakollisuus oli kurssin heikkous	1

* Kappa=1

Avointen osioiden mukaan käytössä oleva kurssialusta koettiin selkeäksi ja kurssin toimintatapojen kannalta toimivaksi ($f=9$). Kaksi vastaajaa piti kurssialustan avoimuutta häiritseväenä, esimerkiksi jokaisella kurssilaisella oli oikeus mennä katsomaan toisen kurssilaisen palautettuja suorituksia. Lisäksi kolme kurssilaista kiinnitti huomioita kurssialustan keskustelualueen ominaisuuksiin. Heidän mukaansa sen käytettävyys oli vähäinen, sillä se ei tiedottanut uusista viesteistä suoraan sähköpostiin.

Opiskelijat pitivät kurssin mallinnusharjoituksia hyödyllisinä. Ne käsittelivät olennaisia asioita ($f=1$) monipuolisesti ($f=2$) ja täyttivät niille asetetut tavoitteet ($f=10$). Opiskelijat painottivat niiden vahvuutena olleen laadukas ohjaus ($f=5$), jota koskeva palaute käsitteli pääosin mallinnusklinikan mielekkyyttä. Toisaalta osa harjoituksista koettiin teknisen ja teoreettisen toteutuksen näkökulmista ($f=5$) liian haasteellisiksi. Ne olisi voinut kytkeä vahvemmin teoriaan ($f=2$), ja niistä olisi tullut tarjota mallivastaukset ($f=1$), mikä olisi tukenut paremmin etäopiskelijoita (ks. taulukko 5.2.2.4.1.2e).

Taulukko 5.2.2.4.1.2e. Mallinnusharjoitusten mahdollisuudet ja kehittämisosa-alueet ($N_{\text{vastaajat}} = 23$; $N_{\text{vahvuudet}} = 18$; $N_{\text{kehittävää}} = 10$)

#	Alaluokka	f
Vahvuus		
1	Täyttivät tavoitteet: Opiskelija koki mallinnusharjoitusten täyttävän niille asetetut tavoitteet	10
2	Ohjaus hyvää: Opiskelija koki mallinnusharjoitusten ohjauksen olleen hyvää	5
3	Monipuolisia: Opiskelija koki kurssin mallinnusharjoitusten olleen monipuolisia	2
4	Käsittelivät olennaisia asioita: Opiskelija koki mallinnusharjoitusten käsitelleen olennaisia asioita	1
Kehitettävää		
5	Liian vaikeita: Opiskelijan mukaan mallinnusharjoitukset olivat liian vaikeita	5
6	Enemmän teoriaa: Opiskelijan mukaan mallinnusharjoitusten tulisi sisältää enemmän teoriaa	2
7	Mallivastaukset: Opiskelijan mukaan mallinnusharjoituksista tulisi olla mallivastausten nähtävillä	1
8	Enemmän ja monipuolisemmin ilmiöitä: Opiskelijan mukaan mallinnusharjoituksia tulisi olla enemmän, ja niiden tulisi olla monipuolisempia	1
9	Ilmaisohjelmistoilla toteuttavia enemmän: Opiskelijan mukaan mallinnusharjoituksia tulisi enemmän suunnata ilmaisohjelmistoilla suoritettaviksi	1

* Kappa=0,82

Etätehtävien katsottiin sopivan kurssin tutkimusperustaiseen työskentelytapaan, ja niissä luettavia artikkeleita pidettiin pääosin hyvinä ($f=10$), mutta osan mielestä niitä oli luettavana liikaa ($f=5$). Lisäksi muutama opiskelija katsoi niiden olevan liian pitkiä ($f=2$) tai vaikeita ($f=1$), toistavan samaa tietoa ($f=2$) tai käsittelevän asioita pinnallisesti ($f=1$) (ks. taulukko 5.2.2.4.1.2f).

Projektityö oli opiskelijoille positiivinen kokemus ($f=4$). Sen katsottiin tukevan kurssilla oppimista ($f=2$) kokoamalla kurssin sisältöä ($f=1$) ja tarjoamalla mahdollisuuden soveltaa opittua ($f=1$). Opiskelijat kokivat projektityön olevan työmäärältään sopiva ($f=2$) ja tukevan tulevaa opettajan työtä ($f=6$) (ks. taulukko 5.2.2.4.1.2g). Kolme opiskelijaa mainitsi projektityön olevan myös raskas, sillä kehittäminen ryhmässä oli heidän mielestään haasteellista.

Taulukko 5.2.2.4.1.2f. Etätehtävien mahdollisuudet ja kehittämisosa-alueet ($N_{\text{vastaajat}} = 23$; $N_{\text{vahvuudet}} = 13$; $N_{\text{kehitettävää}} = 11$)

#	Alaluokka	f
Vahvuus		
1	Artikkelit hyviä: Opiskelija koki artikkelit yleisesti hyväiksi	5
2	Sopivat kurssin työskentelytapoihin: Opiskelija koki etätehtävien sopivan kurssin työskentelytapoihin	5
3	Tutustui kirjallisuuteen: Artikkelit tutustuttivat tieteenalan kirjallisuuteen	1
4	Tukivat ohjelmistojen käytössä: Opiskelija koki etätehtävien tukevan ohjelmistojen käytössä	1
5	Hyvin ohjeistettuja: Etätehtävät oli hyvin ohjeistettu	1
Kehitettävää		
6	Vähemmän artikkeleita: Opiskelija koki artikkeleita olevan liikaa	5
7	Artikkelit liian pitkiä: Opiskelija koki osan artikkeleista olevan liian pitkiä	2
8	Artikkelit toistivat itseään: Opiskelija koki artikkelien toistavan samaa tietoa	2
9	Osa artikkeleista vaikeita: Opiskelija koki osan artikkeleista olevan liian vaikeita	1
10	Artikkelit pinnallisia: Opiskelija koki osan artikkeleista olevan liian pinnallisia	1

* Kappa=0,89

Taulukko 5.2.2.4.1.2g. Projektityön mahdollisuudet ($N_{\text{vastaajat}} = 23$; $f_{\text{vahvuudet}} = 16$)

#	Alaluokka (vahvuus)	f
1	Tukee tulevaa opettajan työtä: Opiskelija koki projektitöiden tukevan tulevaa opettajan ammattia	6
2	Positiivinen kokemus: Projektityö antoi positiivisia kokemuksia	4
3	Sopiva kuormittavuus: Opiskelija koki projektityön kuormittavuuden olevan sopiva	2
4	Tuki eniten oppimista: Projektityö tuki kurssin asioista eniten oppimista	2
5	Mahdollisuus soveltaa oppimaansa tietoa: Opiskelija koki projektityön mahdollisuutena soveltaa oppimaansa	1
6	Kokosi kurssin asiat: Opiskelija koki projektityön kokoavan kurssin asiat	1

* Kappa=0,84

5.2.2.4.2 Yhteisöllisen kehittämisen haasteet ja mahdollisuudet

Ulkoisen arvioinnin mukaan malliin pohjautuva yhteisöllinen kehittäminen sisältää useita mahdollisuuksia ja haasteita. Kehittämistutkimuksen tavoitteena oli kehittää sekä Kemian mallit ja visualisointi -kurssia että malliteoriaan pohjautuvaa kehittämis- ja tutkimusta. Kehittämisen alussa kehittämistavoitteita koskeva tiedottaminen ei ollut kehittäjien kesken riittävän yksiselitteistä, minkä johdosta kaikki kehittäjät eivät olleet täysin sisäistäneet

kehittämistutkimukseen kohdistuvia kehittämistavoitteita ja -käytäntöjä. Tämä aiheutti tutkimuksen myöhemmissä osioissa, kuten esimerkiksi väliarvioinnin toteutuksessa, hankaluuksia. Vastuu väliarvioinnista kuului alustavan suunnitelman mukaan tutkijalle 1, mutta sairaustapauksen vuoksi sen suorittikin tutkija 3, jonka näkemys kehittämistutkimuksesta ei dokumentoinnin osalta täysin vastannut päätutkijan kehittämisvisiota.

Historialliseen malliin tutustuminen auttoi kehittäjiä muodostamaan henkilökohtaisen kehittämisvision kurssin tarpeista ja haasteista. Malleihin pohjautuvan kehittämismenetelmän vahvuudeksi katsottiin käsitekarttojen hyödyntäminen arvioinnin, kehittämistavoitteiden ja kehittämisprosessissa tapahtuvien muutosten visualisoinnissa ja dokumentoinnissa.

Yhteisöllisyys ja kehittäjien taustojen erilaisuus tukivat kehittämistutkimuksen onnistumista ja paransivat kehittämisen luotettavuutta. Kehittäminen suoritettiin kolmella tasolla, mikä mahdollisti kokonaisvaltaisen kehittämisen. Kehittämisessä otettiin huomioon sekä opiskelijoiden ja opetushenkilöiden että organisaation ja tutkimusalan tulevaisuuden tarpeet. Kehittäjistä kokenein piti yhteisöllisyyttä laadukkaan kehittämisen aikaansaamisessa välttämättömänä. Opiskelijoiden tarpeisiin suunnatun kurssin kehittäminen vaatii opiskelijoiden ottamista mukaan kehittämiseen. Kehittäminen muuttui myös sitä avoimemmaksi, mitä kokeneemmasta kehittäjästä oli kyse. Tutkijat 1 ja 3 keskittyivät käytäntöjen kehittämiseen, kun taas tutkija 2 keskittyi suuren linjan strategisiin uudistuksiin ja tulevaisuuden haasteiden ratkaisemiseen.

5.2.2.5 Yhteenveto ja pohdinta

Tapauksen toisessa vaiheessa arvioitiin ensimmäisessä vaiheessa suoritettua kehittämistä ja kehittämiskäytäntöjen soveltuvuutta korkeakouluopetukseen. Kehittäminen toteutettiin malliteoriaan pohjautuvana yhteisöllisenä kehittämistutkimuksena, jonka onnistumista arvioitiin kahden tapaustutkimuksen ja ulkoisen tutkijan tekemien haastattelujen avulla.

Tutkimuksen päätuloksena Kemian mallit ja visualisointi -kurssi uudistettiin vastaamaan paremmin sille asetettuja tavoitteita ja molekyylihallinnuksen opetuskäytön asettamia kansallisia tarpeita. Kehittämisen myötä kurssiin tehtiin sisältöjä, tavoitteita ja rakenteita koskevia uudistuksia. Uudistusten yhteydessä arviointikäytäntöjä muutettiin ja opetus sidottiin vahvemmin energia-teeman alle. Tällöin myös tavoitteisiin lisättiin metakognitiivisia tietoja ja taitoja tukeva tavoite ja tekniseen ja teoreettiseen harjoitteluun varattiin lisää opetusresursseja.

Yhdistämällä malliteoria (Gilbert et al. 2000) yleiseen kehittämistutkimuksen teoriaan (esim. Edelson, 2002) saatiin suoritettua kokonaisvaltainen ongelma-analyysi. Koska kurssiin oli määrä tehdä kehittämistutkimuksen avulla suuria muutoksia, katsottiin analyysissä tarpeelliseksi ottaa huomioon kehitettävän kurssin koko historiallinen kehys vuosilta 2002-2008 (historiallinen malli) (ks. luvut 5.2.1.1 ja 5.2.1.5.1).

Kehittäminen toteutettiin yhteisöllisenä, mikä mahdollisti korkeakouluopetuksen

tarpeiden ja tavoitteiden kokonaisvaltaisen huomioon ottamisen. Kehittäjä 1 tarkasteli kehittämisprosessia korkeakouluopettajan näkökulmasta ja kohdisti kehittämisen kurssiassistentin työskentelyä helpottavan teknologian kehittämiseen (esim. vertaisarvioinnit ja uudentyypinen kurssialusta). Kehittäjä 2 tarkasteli kurssin kehittämistä kansallisen kemianopetuksen tarpeiden (esim. Aksela & Lundell, 2008), tutkimusperustaisen kemianopetuksen toteutumisen (vrt. Aksela, 2010; Jakku-Sihvonen & Niemi, 2006) ja matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan asettamien yliopisto-opetuksen tavoitteiden näkökulmasta (vrt. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, 2010). Tutkija 2:n kehittämis päätösten myötä uudistettiin muun muassa kurssin tavoitteita tukemaan paremmin molekyyli mallinnus innovaation diffuusiota kotimaiseen kemian opetukseen (vrt. Rogers, 1962, 1995). Tutkija 3 tarkasteli kurssia opiskelijoiden näkökulmasta ja kehitti molekyyli mallinnuksen teknistä käyttöä tukevan viikoittaisen molekyyli mallinnus klinikan sekä panosti opiskelijoiden ohjaukseen kurssin avoimessa osiossa (projektityö). Myös Chaon et al. (2010) mukaan kehittäminen muuttuu kokemuksen lisääntyessä avoimemmaksi.

Kehittäminen dokumentoitiin aikaan sidotuilla käsitekarttoilla ja visuaalisilla tietomalleilla, joiden avulla kehittämis päätökset esitettiin visuaalisena kokonaisuutena (vrt. Novak, 1998). Visuaalisten mallien avulla pyrittiin parantamaan kehittämisen luotettavuutta ja uskottavuutta esittämällä yhteisymmärrykseen johtavan mallinnuksen vaiheet (vrt. Dede, 2004; Tuomi & Sarajärvi, 138-139). Tutkimuksen luotettavuutta ja vahvistettavuutta parannettiin tutkimusaineistoon kohdistuvan ja metodisen triangulaation avulla (vrt. Tuomi & Sarajärvi, 2009, 143-149). Tutkimusaineisto käsitti aikaisemmat kurssia käsittelevät dokumentit ja vuoden 2008 kurssipalautteen, kurssin väli- ja loppupalautteen sekä ulkoisen tutkijan tekemät haastattelut. Aineistot analysoitiin aineisto- ja teorialähtöisten sisällönanalyysien metodein, joiden luotettavuus vahvistettiin toisen tutkijan suorittamalla vertaisluokittelulla. Ulkoisen tutkijan tekemä haastattelu ja sen pohjalta kirjoitettu tieteellinen artikkeli tukevat niin ikään tulosten vahvistettavuutta ja luotettavuutta (vrt. Tuomi & Sarajärvi, 138-139).

Ulkoisen arvioinnin mukaan kehittäjien yhteisöllisyys ja kehittäjäryhmän monipuolisuus varmistavat kehittämisen onnistumisen. Yhteisöllisyys tuo myös haasteita kehittämisen koordinointiin ja kehittäjien väliseen viestintään. (vrt. Yu et al. 2002; Chao et al. 2010) Tässä kehittämistutkimuksessa koordinointi haasteeseen vastattiin käsitekarttojen avulla, mikä ulkoisen arvioinnin perusteella todettiin yhdeksi potentiaalliseksi tavaksi koordinoita monimutkaista kehittämistä (Vesterinen et al. 2011).

Kehittämisen luotettavuutta ja onnistumista arvioitiin ulkoisen arvioinnin lisäksi kahden tapaustutkimuksen avulla, joista toinen suoritettiin kurssin puolivälissä ja toinen kurssin jälkeen. Tapaustutkimuksissa tutkittiin opiskelijoiden käsityksiä siitä, miten kurssille asetetut tavoitteet heidän mukaansa tulevat täyttymään kurssin aikana (formatiivinen arviointi) tai täytyivät kurssin jälkeen (summatiivinen arviointi). (vrt. Design-Based Research Collective, 2003)

Väliarvioinnin pohjalta kehitettyyn kurssiin ei tehty muutoksia. Kurssin todettiin

täyttävän nykyisessä muodossaan sille asetetut tavoitteet erinomaisesti. Ainoina kehitysehdotuksina esiin nousivat vertaisarviointien kehittäminen ja ilmaisohjelmistojen painottaminen mallinnusharjoituksissa. Väliarvioinnin aikaan mallinnusharjoitukset oli jo kokonaisuudessaan suoritettu, mutta opiskelijoille muistutettiin ilmaisohjelmistojen mahdollisuuksista projektityössä kehitettävien oppimisympäristöjen TVT-työkaluna. Väliarvioinnista suoritetun sisällönanalyysin tuloksia voidaan pitää erittäin luotettavina vertaisluokitteluista saadun kappa-arvon ollessa 0,81 (vrt. Sim & Wright, 2005).

Suoritettua kehittämistä voidaan pitää erittäin onnistuneena. Opiskelijoiden käsitysten mukaan kurssi täytti sille asetetut tavoitteet erinomaisesti ja kurssin kuormittavuus oli sopusuhtainen. Mitattaessa Likertin asteikolla kurssin tavoitteiden toteutumista toteutuivat kaikki tavoitteet kiitettävästi (ka 4,0-4,7). Innovaation diffuusion osalta opiskelijat tunsivat pääosin nousseensa kurssin aikana orientoitumis- ja käyttötasoilta ($f=17$) kehittämis- ja yhteistyötasolle ($f=18$) (vrt. Hall & Hord, 1987). Tapaustutkimuksen pohjalta voidaan todeta molekyylihallinnuksen siirtyvän tulevaisuudessa kurssin opiskelijoiden opetuskäytäntöihin resursseista riippumatta. Tapaustutkimuksen luotettavuutta pyrittiin parantamaan rakentamalla kyselylomakkeen mittarit aikaisemman tutkimustiedon pohjalta sekä kuvaamalla kyselylomakkeen mittarit tarkasti.

Avointen osioiden mukaan opiskelijat kokivat tutkimuspohjaisen projektityön olleen kurssin antoisin osio. Sama tulos saatiin myös vuoden 2008 kurssipalautteesta (Pernaa et al. 2010). Vertaisarviointeja pidettiin väliarvioinnin tapaan haasteellisina, ja niitä toivottiin kehitettävän esimerkiksi siten, että ne näkyisivät kirjallisina myös palautteen saajalle. Tällä kurssilla ne annettiin arvioitavalle suullisesti. Käytössä ei ollut toimintatapoja tai teknologiaa, jolla kirjallinen palaute olisi voitu toteuttaa tehokkaasti. Vertaisarviointien yleinen haasteellisuus ei ole uutta, sillä arviointi on ylemmän tason kognitiivinen prosessi (vrt. Anderson & Krathwohl et al. 2001). Kurssin kuormittavuuden koettiin olevan kohdallaan, mutta osan mielestä tutkimusartikkeleita oli liikaa. Avointen osioiden sisällönanalyysistä voidaan pitää erittäin luotettavina kappa-arvojen vaihdellessa välillä 0,82-1 (ks. taulukot 5.2.2.4.1.2d-5.2.2.4.1.2g) (vrt. Sim & Wright, 2005).

Tulevaisuudessa kurssin vertaisarviointeja tulee kehittää niin, että ne on mahdollista saada halutessaan kirjallisina. Lisäksi opiskelijat tarvitsevat vertaisarviointien laatimiseen yksityiskohtaisemmat ohjeet. On myös syytä arvioida uudelleen, mitkä artikkelit ovat olennaisia molekyylihallinnuksen opetuskäytön ja tutkimusperustaisen kemianopetuksen tukemisessa.

Tämä kehittämistutkimus osoittaa malliteoriaan pohjautuvan yhteisöllisen kehittämistutkimuksen soveltuvan hyvin korkeakouluopetuksen kurssien kehittämiskäytäntöihin. Malliteorian avulla kehittämiseen pystytään sisällyttämään kokonaisvaltainen ongelma-analyysi ja kehittämisspätösten dokumentointi. Kehittämistutkimus taas mahdollistaa kehittämisen kytkemisen aikaisempaan tutkimustietoon (vrt. Edelson, 2002) ja malliteoria kehittäjien kehittämiskokemuksiin (vrt. Justi & Gilbert, 2002).

Tutkimusmenetelmänä kehittämistutkimus on avoin, työläs ja monimutkainen (vrt. Collins, 1999), mutta vastaavasti taas kehittämistuotos vastaa tarkasti kehittämistavoitteita ja kehittäminen pystytään luotettavasti dokumentoimaan. Kehitetty tutkimusmenetelmä on hyvin siirrettävissä erilaisiin tutkimuskonteksteihin. Se on käytössä esimerkiksi opetusalan tutkimuspalveluja tarjoavan konsulttiyrityksen tutkimuspalveluna, jossa sillä on kehitetty muun muassa tutkimusperustaisia markkinointimateriaaleja kansainvälisille markkinoille (Liite 2).

Koko kehittämisprosessia tarkasteltaessa huomataan, että kehittämisen laadun parantamiseksi tulisi kehittäjien välistä tiedotusta lisätä (vrt. Chao et al. 2010). Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi aikasidonnaisilla visuaalisilla tietomalleilla ja käsitekartoilla, jolloin eri asioihin keskittyvät kehittäjät näkevät koko kehittämisen kokonaisuutena. Myös kehittämisvastuualueita tulisi jakaa selvemmin. Kehitettyä menetelmää tulee tulevaisuudessa testata haastavammissa kehittämiskonteksteissa, jotta pystytään paremmin arvioimaan, millaisia haasteita yhteisöllisyys tuo malleihin pohjautuvan kehittämistutkimuksen toteuttamiseen, dokumentointiin ja luotettavuuden ylläpitämiseen.

5.3 Tapaus III: Tieto- ja viestintäteknikkaa ja kokeellisuutta yhdistävien oppimisympäristöjen kehittäminen

Kolmannessa kehittämistutkimuksessa tutkittiin TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistävien kemian oppimisympäristöjen kehittämistä. Tutkimus koostui kahdesta vaiheesta. Ensimmäisessä vaiheessa (2009) selvitettiin TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistävien kemian oppimisympäristöjen kansallinen kehittämistarve kehittämällä oppimisympäristöjä, joiden avulla tutkittiin kemian opettajaopiskelijoiden ja opettajien käsityksiä aiheesta (ks. luku 5.3.1; Pernaa & Aksela, 2009). Ensimmäinen vaihe oli varsinaisen kehittämistutkimuksen (2010-2011) pilottivaihe. Toisessa vaiheessa tutkittiin, miten tapauksessa II kehitetty yhteisöllinen kehittämistutkimusmenetelmä soveltuu tutkimusperustaisen kemianopetuksen toteutustavaksi. Toisessa vaiheessa tutkimuksen painopiste siirrettiin kehittämisprosessin tutkimiseen (ks. luku 5.3.2).

Pilottivaihetta ohjasivat tutkimuskysymykset:

1. Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita tieto- ja viestintäteknikkaa ja kokeellisuutta yhdistävien kemian oppimisympäristöjen kehittämisellä kemian aineenopettajien ja opiskelijoiden käsitysten mukaan on?
2. Miten opiskelijat pyrkivät kehittämässään oppimisympäristöissä tukemaan mielekästä kemian opetusta ja oppimista kokeellisuuden ja tieto- ja viestintäteknikan keinoin?
3. Millainen vaikutus tieto- ja viestintäteknikan ja kokeellisuuden yhdistämisellä kemian aineenopettajien ja opettajaopiskelijoiden käsitysten mukaan kemian oppimiseen on?

5.3.1 Vaihe 1: Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä kokeellisuuden ja tieto- ja viestintäteknikan yhdistämisestä (pilottitutkimus)

5.3.1.1 Tutkimuksen eteneminen

Oppimisympäristöjen kehittäminen toteutettiin Helsingin yliopiston kemian laitoksen kemian aineenopettajaopintojen syventävien opintojen Kokeellisuus kemian opetuksessa (KOKE) II -kurssin yhteydessä kevään 2009 aikana. Kehittäjinä toimivat kurssille osallistuneet kemiaa pääaineenaan ja toisena aineenaan opiskelevat opettajaopiskelijat (N=21). Opiskelijat jakautuivat kurssilla viiteen TVT-ryhmään omien kiinnostustensa mukaisesti. Valittavina TVT-ryhminä olivat 1) animaatiot ja simulaatiot, 2) tietokoneavusteiset käsitekartat, 3) tietokoneavusteinen molekyyli mallinnus, 4) videot ja 5) mittausautomaatio (rajattu pois tutkimuksesta).

Opiskelijoilla oli tehtävänantona kehittää TVT-ryhmissä kokeellinen työ, jossa kemian oppimista ja opetusta tuetaan TVT:n avulla. Kehittämistyölle annettiin tehtävänannossa kolme huomioon otettavaa haastetta: i) kehittämisen täytyi pohjautua tutkimuskirjallisuuteen,

ii) työn kontekstin ja käsiteltävän ilmiön täytyi pohjautua opetussuunnitelmien perusteisiin ja
iii) kehittämisessä täytyi ottaa huomioon töiden siirrettävyys koulumaailmaan. Kehittämistutkimuksen koordinoi tutkija, joka toimi myös kurssin opettajana. Koordinointiin sisältyi kehittämisprosessin päälinjoista (tavoitteet, sisällöt ja aikataulut) päättäminen. Kehittäjät voivat myös kääntyä tutkijan puoleen esim. TVT:n tekniseen toteutukseen, työn pedagogiseen toteutukseen ja teoriapohjan rakentamiseen liittyvien neuvojen ja tuen tarpeessa.

Kehittämisprosessi koostui kolmesta vaiheesta:

Vaihe 1: Ryhmät tutustuivat tutkimuskirjallisuuteen ja opetussuunnitelmien perusteisiin, minkä jälkeen työstä kehitettiin ensimmäinen versio, jonka ryhmät testasivat laboratoriossa.

Vaihe 2: Ryhmät esittivät ensimmäiset kehittämisversiot muille kurssilaisille kurssi-seminaarissa, testasivat kahden muun ryhmän työt ja antoivat niistä joko suullisen tai kirjallisen vertaisarvioinnin. Lopuksi he muiden antamien vertaispalautteiden perusteella edelleen kehittivät omaa oppimisympäristöään.

Vaihe 3: Ryhmät vetivät kaksi omiin töihinsä liittyvää työpajaa Kemian opetuksen päivillä 2009. Työpajoissa ryhmillä oli 10-15 minuuttia aikaa esitellä työtään työpajaan osallistuneille opettajille ja opiskelijoille, minkä jälkeen keskustelulle oli varattu aikaa 5-10 minuuttia.

Ryhmien tuotokset (Liitteet 4-7) analysoitiin teorialähtöisen sisällönanalyysin metodein, ja pääluokat nostettiin teorialuvusta 3 (ks. Tuomi & Sarajärvi, 2009, 113-117). Pääluokkia oli yhteensä kuusi: 1) mielekkään oppimisen teoria, 2) kognitiiviset prosessit, 3) mallit ja visualisointi, 4) kokeellisuus, 5) kontekstuaalisuus ja 6) tutkimusperustaisuus. Analyysin perusteella selvitettiin, miten opiskelijat pyrkivät kehittämissään oppimisympäristöissä tukemaan mielekäästä kemian oppimista ja opetusta. Analyysin pohjalta haettiin vastausta toiseen tutkimuskysymykseen.

TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistävien oppimisympäristöjen kehittämistarvetta ja opettajien käsityksiä aiheesta selvitettiin havainnoimalla työpajojen yhteydessä käytyä palautekeskustelua sekä suorittamalla työpajojen yhteydessä kyselytutkimus. Kyselylomake (Liite 8) koostui viidestä (A-E) mittarista ja 19 osiosta, joista mittari C rakennettiin aikaisemman tutkimusten pohjalta, minkä myötä pyrittiin parantamaan kyselyn luotettavuutta (ks. Liite 8, mittari C ja vrt. Aksela et al. 2008: Aksela & Lundell, 2008) Lomake sisälsi sekä avoimia että suljettuja osioita. Suljettujen osioiden mittaustaso vaihteli järjestämisen ja mittaamisen välillä. Suljetuista osioista laskettiin frekvenssit, keskihajonnat ja keskiarvot. Vastaajien suljetuissa kysymyksissä antamaa arviointia pyritään selittämään myös antamalla

esimerkkejä opettajien avoimista perusteluista.

Kyselyyn vastasi 27 opettajaa ja opiskelijaa ($N_{\text{mies}} = 13$ ja $N_{\text{nainen}} = 14$), joista 19 toimi opettajina ja kahdeksan vielä opiskeli. Heistä 69 % oli opiskellut kemiaa pääaineenaan. Matematiikka oli yleisin toinen aine ($f=14$), fysiikka toiseksi ($f=12$) ja tietotekniikka kolmanneksi yleisin ($f=5$). Opettajien opetuskokemus vaihteli yhden ja 20 vuoden välillä ($f_{0-5} = 6$, $f_{6-10} = 3$, $f_{11-15} = 5$, $f_{16-20} = 1$ and $f_{\text{yli } 20} = 4$). Opettajat opettivat peruskoulussa ($f=3$), lukiossa ($f=6$), sekä lukiossa että peruskoulussa ($f=5$), ammattikorkeakoulussa ($f=2$), ja kolme heistä toimi satunnaisesti sijaisena.

Kyselyyn vastanneet opettajat ja opiskelijat totesivat kokeellisen työskentelyn olevan yleinen työtapo omassa opetuksessaan. Resurssien mukaan heistä 23 % ($f=6$, $N=26$) käytti kokeellista työskentelyä joskus ja 46 % ($f=12$, $N=26$) usein. Avointen vastausten perusteella he kokivat kokeellisuuden olevan olennainen asia kemian opetuksessa ($f=7$, $N=19$), jolla on opiskelijoita motivoiva vaikutus ($f=5$, $N=19$).

- (V2) *“Kokeellisuus on tärkeää, sillä se kehittää havainnointia, luonnontieteellistä ajattelua ja motivoi oppilaita.”*
- (V3) *“Kemiaa ei voi oppia ilman kokeellista työskentelyä.”*
- (V5) *“Aina ei ole käytettävissä laboratorioluokkaa.”*
- (V7) *“Kokeellisuus on tärkeää sekä oppimisen, että motivoinnin kannalta.”*

5.3.1.2 Tulokset

5.3.1.2.1 Tieto- ja viestintäteknikkaoppimisympäristöjen mahdollisuudet ja haasteet

TVT oli vastaajille tuttu työväline. Heistä 48 % ($f=13$, $N=27$) hyödynsi TVT:aa opetuksessaan päivittäin. TVT:aa ei kuitenkaan hyödynnetty kokeellisen työskentelyn tukena. Vain 8 % ($f=2$, $N=26$) heistä yhdisti TVT:n ja kokeellisuuden usein ja 46 % ($f=12$, $N=26$) harvoin. Vastaajista 23 % ($f=6$, $N=26$) ei ollut koskaan käyttänyt TVT:aa kokeellisuuden tukena.

Pääsyyt kokeellisuuden ja TVT:n vähäiseen yhdistämiseen olivat i) taidon puute, ii) ohjelmistojen puute tai iii) ajan puute. Vastaajat kertoivat olevansa halukkaita yhdistämään niitä tulevaisuudessa enemmän. Vastaajat olivat samaa mieltä (26 %, $f=7$, $N=27$) ja täysin samaa mieltä (67 %, $f=18$, $N=27$), että TVT:aa ja kokeellisuutta mielekkäästi yhdistävien oppimisympäristöjen kehittämistarve on suuri.

- (V5) *“Ne monipuolistaisivat opetusta.”*
- (V7) *“Mitä enemmän on hyödyllisiä ympäristöjä, sitä paremmat perusteet on parantaa resursseja.”*
- (V7) *“Monen koulun resurssit ovat liian vähäiset (aika, tieto ja taito), haluaisin käyttää enemmän.”*

(V25) *“Riippuu kokeellisesta työstä ja ajankäytöstä.”*

5.3.1.2.2 Kehitetyt oppimisympäristöt

Tässä luvussa tarkastellaan, miten opiskelijat pyrkivät kehittämässään oppimisympäristöissään tukemaan mielekästä kemian opetusta ja oppimista. Ilmiötä pyritään tarkastelemaan kokonaisvaltaisesti kuvailemalla kehitetyt oppimisympäristöt sekä esittämällä niistä teorialähtöisellä sisällönanalyysillä (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-113) esille nostettuja mielekästä kemian oppimista ja opettamista tukevia seikkoja (ks. taulukot 5.3.1.2.2a-5.3.1.2.2c).

Oppimisympäristö 1: Hapojen ja emästen opetus tietokoneavusteisten käsitekarttojen avulla (Liite 4)

Kehitetyn oppimisympäristön tavoitteena on peruskoulutasolla opettaa oppilaille käsitekartoitusta sekä syventää heidän tietojaan hapojen ja emästen kemiasta. Kehittäjät käyttivät työssään kontekstuaalista lähestymistapaa, jossa he sitoivat hapot ja emäkset elinympäristön kemiaan. Työ toteutetaan yhteistoiminnallisen työskentelyn avulla: Oppilaat jaetaan ensin ryhmiin, joissa he annettujen käsitteiden avulla työستävät ensimmäisen käsitekarttaversioon. Käsitekartoituksen jälkeen ryhmät suorittavat työn kokeellisen osion ja kehittävät karttojaan kotiryhmissä. Lopuksi kaikkien ryhmien karttoja työستetään yhteisesti opettajan johdolla. Työskentelytavan tavoitteena on antaa oppilaille tiedonhankintataitoja ja tukea sekä kehittää oppilaiden metakognitiivia tietoja (tietoa omasta osaamisesta) ja antaa opettajalle strategista tietoa oppilaiden osaamisesta.

”Käsitekartta-työ ryhmätyönä auttaa oppilasta kehittämään myös hänen yhteistyötaitojaan, keskustelutaitojaan” (Liite 4, sivu 4, luku 2.2, rivit 5-6)

”Työ tukee opetussuunnitelman tavoitetta opettaa oppilasta käyttämään luonnontieteellisen tiedonhankinnan kannalta tyypillisiä tutkimusmenetelmiä, myös tieto- ja viestintätekniikkaa”. (Liite 4, sivu 5, luku 2.4, kpl 2, rivit 2-4)

”Opettaja oppii käsitekartan avulla oppilaan ajatusmaailmasta, miten oppilas käsittelee opetettuja käsitteitä ja ilmiöitä, ja mahdollisista oppilaan virhekäsityksistä sekä vaihtoehtoisista käsityksistä. Näin opettaja pystyy kehittämään tulevia opetustuntejaan erilaisilla opetusmenetelmillä saadakseen toteutettua mahdollisimman mielekästä opetusta.” (Liite 4, sivu 5, luku 2.3)

”Tällöin oppilaat saavat happoihin ja emäksiin liitetyistä käsitteistä laajemman kokonaiskuvan ja heidän on helpompi muokata omia tietorakenteitansa aiheesta.” (Liite 4, sivu 4, luku 2.1, kpl 3, rivit 5-7)

Käsitekarttojen tekoon käytettiin CmapTools-ohjelmistoa (IHMC, 2011). Kehittäjät ottivat huomioon myös oppimisympäristön tekniset osatekijät rakentamalla CmapTools-ohjelmistolle käyttöä helpottamaan suomenkielisen käyttöohjeen sekä kehittämällä oppimisympäristöstä myös version, jonka voi suorittaa ilman tietokonetta.

Hyödyntämällä erilaisia käsitekartoitukseen pohjautuvia työtapoja kehittäjät pyrkivät oppimisympäristöllään tukemaan mielekkään oppimisen teoriasta käsitehierarkian muodostumista, edistyvää eriytymistä ja eheytyvää yhdistämistä. Opiskelijaa aktivoidaan kartoittamiseen, jolloin kehitetyn oppimisympäristön avulla pyritään parantamaan käsiterakenteita sekä määrällisesti että laadullisesti.

Korkeamman tason kognitiivisista prosesseista pyritään kehittämään analysointitaitoja siten, että yhdistetään käsitteellisen tason tiedon ymmärtäminen prosessitietoon. Oppilaan visualisointitaitojen kehittymistä ja kemian kolmen tason ymmärtämistä pyritään tukemaan mallintamalla reaktioyhtälöitä ja käsiterakenteita. Kemian mielekkään opetuksen ja oppimisen tukemiseksi on käytetty myös kontekstuaalisuuden keinoja: on tarkasteltu kemian merkitystä osana elinympäristöä (ks. taulukko 5.3.1.2.2a.).

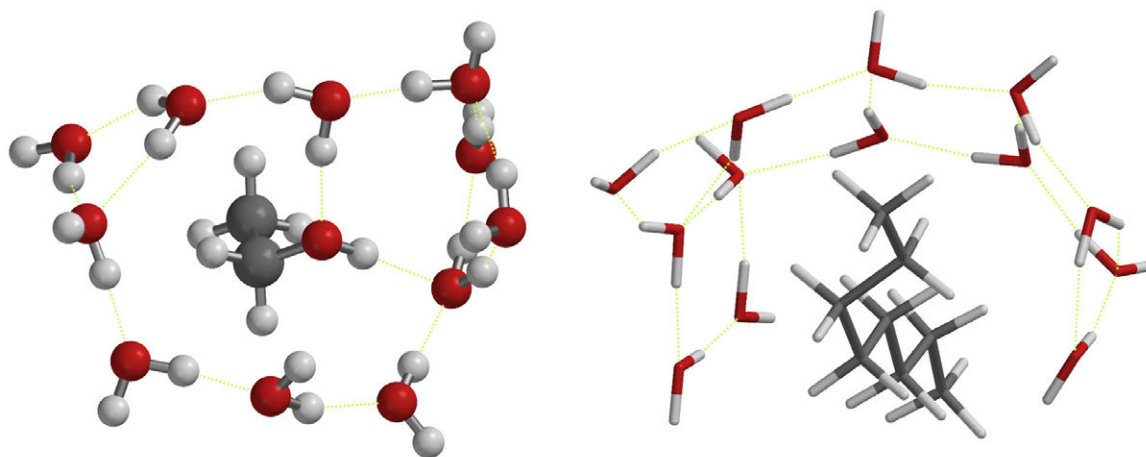
Taulukko 5.3.1.2.2a. Kemian mielekkään opetuksen ja oppimisen tukeminen happoja ja emäksiä käsittelevän, tietokoneavusteisiin käsitekarttoihin pohjautuvan oppimisympäristön avulla

Pääluokka	Yläluokka	Alkuperäinen ilmaus	Alaluokka
Mielekkään oppimisen teoria	Käsittehierarkian muodostuminen	<i>"Oppilas oppii muodostamaan happoihin ja emäksiin liitetystä käsitteistä ja ilmiöistä kokonaisuuden käsitekarttatekniikan avulla. Käsitekarttatekniikassa oppilaan on helpompi yhdistää uusi tieto vanhaan tietorakenteeseensa ja mahdollisesti korjata sitä oppimansa uuden tiedon valossa, koska hän näkee konkreettisesti tietorakenteensa visuaalisessa muodossa."</i> (Liite 4, sivu 4, luku 2.2, kpl 1, rivit 1-4)	Oppilaan käsittehierarkian muodostumisen tukeminen
	Edistyvä eriytyminen ja eheytyvä yhdistäminen	<i>"syventää tietoa valitusta aiheesta"</i> (Liite 4, sivu 4, luku 2.1, kpl 1, rivi 1) <i>"Lopuksi oppilaiden tekemät käsitekartat liitetään opettajan tekemään alustavaan käsitekarttaan. Opettaja voi yhdistää myös aikaisemmin tehdyt kokeellisuuskäsitekartat alustavaan käsitekarttaan. Tällöin oppilaat saavat happoihin ja emäksiin liitetystä käsitteistä laajemman kokonaiskuvan ja heidän on helpompi muokata aihetta koskevia omia tietorakenteitaan."</i> (Liite 4, sivu 4, luku 2.1, kpl 3, rivit 3-7)	Käsiterakenteen laadullinen ja määrällinen kehittäminen
Kognitiiviset prosessit	Tiedon tasot	<i>"Happamuus ja emäksisyys -aihe liittyy opetus suunnitelmien tavoitteisiin opettaa oppilasta tuntemaan ja käyttämään fysiikan ja kemian käsitteitä, jotka kuvaavat aineiden ominaisuuksia."</i> (Liite 4, sivu 5, luku 2.4, kpl 2, rivit 4-6)	Käsitetieto
	Analysointi vs. käsitetieto vs. prosessitieto	<i>"Kokeellisuus-osion työ voidaan tehdä, kun on käsitelty käsitteet happo, emäs ja pH. Ennen kokeellisen työn suorittamista oppilaat tekevät työohjeesta käsitekartan. Tavoitteena on, että oppilaat pystyvät työohjeesta tehdyn käsitekartan avulla keskittymään työn olennaisiin kohtiin."</i> (Liite 4, sivu 4, luku 2.1, kpl 1, rivit 1-4)	Tunnistaa olennaisen tiedon
Mallit ja visualisointi	Visualisointi	<i>"...hän näkee konkreettisesti tietorakenteensa visuaalisessa muodossa. Käsitekartat auttavat siis oppilasta hahmottamaan paremmin suurempia kokonaisuuksia, kuten hapot ja emäkset."</i> (Liite 4, sivu 4, luku 2.2, kpl 1, rivit 4-5)	Käsiterakenteiden visualisointi ja hahmottaminen
	Kemian kolme tasoa	<i>" , sekä kemiallisten reaktioiden kuvailemista ja mallinnusta reaktioyhtälöiden avulla."</i> (Liite 4, sivu 5, luku 2.4, kpl 2, rivit 7-8)	Symbolisen tason ymmärtämisen tukeminen
Kontekstuaalisuus	Käsitteen ja kontekstin vuorovaikutus	<i>"Lisäksi oppilas oppii kemian ilmiöiden merkityksestä ihmiselle ja yhteiskunnalle"</i> (Liite 4, sivu 5, luku 2.4, kpl 2, rivi 6-7)	Kemian merkitys elinympäristössä

Oppimisympäristö 2: Molekyylimallinnus ja kokeellisuus (Liite 5)

Molekyylimallinnusryhmän tavoitteena oli innostaa opiskelijoita kemian opintoihin tutkimalla elinympäristöstä tuttuja ilmiöitä (liukoisuus (ks. kuva 5.3.1.2.2a)) makrotasolla kokeellisesti ja submikrotasolla molekyylimallinnuksen avulla. Molekyylimallinnuksen avulla on tarkoitus tehdä päätelmiä, joiden avulla selitetään tai ennustetaan makrotason havaintoja ja aktivoidaan korkeamman tason kognitiivisia prosesseja (ks. taulukko 5.3.1.2.2b). Harjoitus koostuu neljästä vaiheesta:

1. perehdytys mallinnusohjelmiston käyttöön
2. kokeellista työskentelyä yhdistettynä molekyylimallinnukseen
3. itsenäistä mallinnusta ja päätelmientekoa
4. soveltava tehtävä



Kuva 5.3.1.2.2a. Liukoisuuden mallintaminen kehitetyssä oppimisympäristössä (Liite 5)

Taulukko 5.3.1.2.2b. Kemian mielekkään opetuksen ja oppimisen tukeminen molekyylimallinnuksen kokeellisuuden avulla

Pääluokka	Yläluokka	Alkuperäinen ilmaus	Alaluokka
Mielekkään oppimisen teoria	Motivaation tukeminen	"...niiden yhdistäminen on omiaan innostamaan oppilaita luonnontieteiden ja erityisesti kemian opiskeluun" (Liite 5, sivu 6, luku 4, kpl 1, rivit 9-10)	Innostaa kemian opintoihin
Kognitiiviset prosessit	Ymmärtää (päättely)	"Oppilas oppii tekemään mallinnuksen avulla päättelyitä ja ennustuksia aineiden liukoisuudesta" (Liite 5, sivu 7, luku 5)	Molekyylimallinnus päätösten tukena
	Ymmärtää vs. soveltaa	"...oppilas ymmärtää paremmin aineiden liukenemista toisiin aineisiin ja (toivottavasti) osaa soveltaa oppimaansa myöhemmissä elämänsä vaiheissa." (Liite 5, sivu 6, luku 4, kpl 1, rivit 11-12)	Ymmärtää ja soveltaa oppimaansa
	Arvioida	"Mallinnus toimii lukioon erinomaisesti, jos kerran tavoitteena on perehtyä tieto- ja viestintätekniikan mahdollisuuksiin mallintamisen välineenä" (Liite 5, sivu 6, luku 4, kpl 2, rivit 8-9)	Arvioidaan mallinnuksen mahdollisuuksia ja haasteita
Mallit ja visualisointi	Kemian kolme tasoa	"Pyrimme opetussuunnitelman perusteita noudattaen lahtien kokeellisesta työskentelystä siirtyen tieto- ja viestintätekniikkaa hyväksi käyttäen tekemään luonnontieteellistä tutkimusta, jossa tarkoituksena on havainnoida elinympäristöön liittyviä ilmiöitä sekä kuvailemaan ja mallintamaan niitä. (Liite 5, sivu 6, luku 4, kpl 1, rivit 4-7)	Makrotason havainnon submikrotason mallintaminen
		"Oppilas ymmärtää, mikä merkitys molekyylin varauksen jakautumisella on liukoisuuteen" (Liite 5, sivu 7, luku 5)	Makrotason havainnon selittäminen mallinnuksella
	Mallikäsité	"Mitä malli tarkoittaa? Millaisia malleja olette käyttäneet kemian tunneilla? Oletteko törmänneet malleihin arkielämässänne? Ovatko mallit kopioita todellisuudesta? Voiko niitä muuttaa?" (Liite 5, sivu 11, luku 5.1.5, kpl 1, rivit 1-2)	Mallien mahdollisuudet ja rajat
Kontekstuaalisuus	Käsitteen ja kontekstin vuorovaikutus	"Lukion opetussuunnitelman perusteissa sanotaan, että opetuksen tarkoituksena on "luonnontieteellisen ajattelun ja nykyaikaisen maailmankuvan kehittyminen" monipuolisen yleissivistyksen osana, sekä monipuolisen kemiakuvan välittäminen. Työmme voidaan nähdä toteuttavan juuri näitä periaatteita sekä toteuttavan myös kestävän kehityksen periaatteita paremmin, jos työ tehdään ainoastaan mallintamalla." (Liite 5, sivu 6, luku 4, kpl 2, rivit 2-6)	Kemian merkitys osana yleissivistystä ja kestävästä kehitystä

Työ suunniteltiin soveltuvaksi sekä peruskouluun että lukioon. Molekyylimallinnukset toteutettiin Spartan student 03 -ohjelmistolla. Kehittäjät ottivat huomioon oppimisympäristöjen didaktiset ja tekniset osatekijät, laativat opetuksen tueksi valmiita

mallinnusta käsitteleviä kysymyksiä ja käytettävän ohjelmiston käyttöohjeen sekä suunnittelivat erilaisia toteutustapoja eritasoisia mallintajia varten.

”Spartan tutuksi osion voi jättää väliin, jos ohjelmaa on käytetty aikaisemmin.”

(Liite 5, sivu 7, luku 5)

Oppimisympäristö 3: Tieto- ja viestintätekniikan käyttö kokeellisessa kemian opetuksessa – videot (Liite 6)

Kehitetyssä oppimisympäristössä demonstroidaan Mohrin titrauksessa tapahtuvia makroskooppisia muutoksia videoiden avulla; muutosten pohjalta käsitellään tasapainoreaktioita. Harjoitus on suunniteltu lukiotasolle (KE5-kurssi), jonka keskeiseen sisältöön tasapainoreaktiot kuuluvat. Oppimisympäristön kontekstuaaliseen kokeelliseen osioon virittäydytään interaktiivisen demonstraatio-osion avulla. Siinä kognitiivisen tason korkeampia prosesseja aktivoidaan ennusta–havainnoi–selitä -menetelmällä (*engl. predict-observe-explain (POE)*). Oppimisympäristön kehittämisessä on otettu huomioon myös opettajan suuri merkitys mielekkään kemianoppimisen ja motivoinnin tukemisessa.

Kehittäjät pitivät videoita erinomaisena makroskooppisen tason demonstraatiotyökaluna. Heidän mukaansa videoiden avulla voidaan säästää aikaa esimerkiksi laitteiden esittelyssä tai mahdollisten ongelmakohtien tarkastelussa pitkien kokeellisten töiden yhteydessä. Kehittämisessään he pohtivat myös oppimisympäristöjen fyysisiä osatekijöitä ja painottivat videoiden olevan turvallinen tapa toteuttaa kokeellisuutta muun muassa puutteellisilla välineillä, vaarallisilla aineilla tai suuressa ryhmässä. Kehittäjät mainitsivat myös videoiden hyödyntämiseen liittyviä haasteita. He korostivat verkosta löytyvien videoiden tason olevan vaihteleva, mikä pakottaisi opettajat tekemään omia videoita. Se taas veisi aikaa ja olisi haasteellinen prosessi. Kehittäjät hyödynsivät sosiaalista mediaa materiaalin jakamisessa ja veivät videot osaksi You tube -palvelua (<http://www.youtube.com/watch?v=4feYEd8v-j4> (tarkistettu 17.10.2011)). (ks. taulukko 5.3.1.2.2c).

”Kaikkien laboratoriotöiden suorittaminen koulujen olosuhteissa ei tilojen, kemikaalien ja välineistön puutteellisuuden vuoksi välttämättä ole mahdollista. Tämän lisäksi on useiden töiden suorittaminen vaarallisten reagenssien tai työssä muodostuvien kaasujen vuoksi mahdotonta. Suuret oppilasryhmät tuovat myös opettajalle haasteen tehdä kokeellisia töitä ryhmän kanssa, silloin voidaan myös käyttää videoita apuna ilmiön havainnollistamisessa.” (Liite 6, sivu 6, luku 5, kpl 3)

”Videoiden käytön hankaluutena kemian opetuksessa on se, että kaikista töistä ei ole saatavilla valmista videota, vaan se täytyisi kuvata itse. Tämä vie opettajalta aikaa, jota usein on rajallisesti.” (Liite 6, sivu 6, luku 5, kpl 6, rivit 1-2)

Taulukko 5.3.1.2.2c. Kemian mielekkään opetuksen ja oppimisen tukeminen videodemonstraatioiden avulla

Pääluokka	Yläluokka	Alkuperäinen ilmaus	Alaluokka
Mielekkään oppimisen teoria	Motivointi	<i>"Opettajan tehtävä on ohjata demonstraation aiheuttama ihmetys oppijan sisäiseksi aktiivisuudeksi. Demonstraatioilla on tärkeä motivoiva vaikutus kemian opetuksessa. Opettajan jatkuva läsnäolo auttaa ohjaamaan oppilaiden huomiota oleelliseen suuntaan."</i> (Liite 6, sivu 5, luku 4, kpl 2, rivit 1-3)	Opettajan rooli motivoinnissa
Kognitiiviset prosessit	Arvioida	<i>"Kokeesta tehdään hypoteesi myös ennakkoon. Demonstraation aikana tarkistetaan hypoteesi ja esitellään ominaiset ilmiöt ja käsitteet. Lopuksi arvioidaan kokeen kulkua ja tuloksia."</i> (Liite 6, sivut 5-6, luku 4, kpl 5, rivit 8-10)	Kokeellisen prosessin tarkistaminen
Kontekstuaalisuus	Käsite ja sovellus	"5. Lihaliemikuutio <i>Keitä yksi lihaliemikuutio 500 millilitrassa vettä. Pipetoi lihaliemiliuosta 5 millilitraa sekä 1 % K_2CrO_4 10 millilitraa 100 millilitran dekanteriin. Laimenna liuos n. 50 millilitraksi, lisää dekanteriin magneettisekoittaja ja titraa liuos 0,1 mol/l hopeanitraattiliuoksella. Laske lihaliemen suolapitoisuus ($NaCl:n$ m-%) lausekkeella $0,11688 x$, jossa x on hopeanitraatin kulutus. Tarkista tuoteselosteesta lihaliemen suolapitoisuus."</i> (Liite 6, sivut 18-19)	Käsite: Liukeneminen Sovellus: Lihaliemi- kuution suolapitoisuus

Oppimisympäristö 4: Suolan liukeneminen (Liite 7)

Kehitetty oppimisympäristö koostuu ruokasuolan ($NaCl$) veteen liukenemista kuvaavasta animaatiosta ja verkosta löytyvien animaatioiden listasta. Kehittäjät lähestyivät tehtävää tutustumalla tarkasti aiheen tutkimuskirjallisuuteen ja tekemällä pienimuotoisen oppikirja-analyysin yläkoulun kemian oppikirjoista, joiden pohjalta he määrittivät animaation tarpeet ja mahdollisuudet. Animaation he tekivät ilmaisella ChemSense Animator -ohjelmistolla (ChemSense, 2011). Kehitetyn animaation tavoitteena on päätellä veden ominaisuuksia erilaisten mallien avulla ja siten tukea malli-käsitteen käyttämistä ajattelun tukena.

Kehittäjät kannustavat opettajia kokeilemaan animaatioiden tekoa oppilaiden kanssa, sillä he pitävät sitä oppilaille mielekkäänä työtapana. Samalla he muistuttavat animaatioiden tekemisen olevan haasteellista ja vievän aikaa. Prosesin tueksi on verkossa tarjolla valmiita animaatioresursseja. He myös tiedostivat kouluissa kehittämisprosessin aikana ilmeneviä, ohjelmistojen asentamiseen liittyviä teknisiä haasteita.

"Keskeisinä sisältöinä on mainittu mm. vesi ja veden ominaisuudet sekä alkuaineiden ja yhdisteiden ominaisuuksien ja rakenteiden selittäminen atomimallin tai jaksollisen järjestelmän avulla." (Liite 7, sivu, 2, kpl 4, rivit 2-4)

“Tietokoneanimaatioiden käyttö koulussa voi käytännössä olla aika hankalaa, koska monessa kunnassa opettajat ja oppilaat eivät saa asentaa ohjelmia tietokoneelle itse. Selainpohjaiset animaatiot, joissa käyttäjä voi säätää muutamia parametreja, voisivat olla yksi ratkaisu.” (Liite 7, sivu 1, kpl 4)

5.3.1.2.3 Tieto- ja viestintätekniikan ja kokeellisuuden yhdistämisen mahdollisuudet ja haasteet

Suoritetun kyselyn ja arviointitilanteen havaintojen perusteella vastaajat pitivät käsitekarttoja hyödyllisinä käsitekenteiden ja kokonaiskuvan muodostamisessa. He myös mainitsivat työpajan koontikeskusteluissa, että olisi mielenkiintoista rakentaa työohjeita käsitekartan muotoon.

(V4) “Käsitekartta auttaa kokonaisuuden ymmärtämiseen.”

Vastaajien mielestä tietokoneavusteinen molekyylihallinnus on kokeellisen työskentelyn tukena tärkeää, mutta osan mielestä suuret luokkakoot tekevät molekyylihallinnusoppimisympäristössä kehitettyjen harjoitusten toteuttamisen todellisessa koululuokassa hankalaksi. Tutkimuksessa nousi esille myös resurssien vähäisyys, esimerkiksi kaupallisia ohjelmistoja ole mahdollista hankkia. Jotkut opettajat totesivat, että eivät tiedä, mistä ohjelmistoja voisi ostaa.

(V10) “Toistaiseksi, monia hyviä oppimisympäristöjä ole tiedossa, mutta nämä auttavat opetuksessa”

(V23) “Tarvitaan lisätietoa ohjelmistojen käytöstä.”

(V27) “Kouluissa ei ole mallinnusohjelmia, sillä ne ovat kalliita.”

(V27) “Näistä oppimisympäristöistä on todellisuus kaukana. Ison ryhmän kanssa mahdotonta toteuttaa.”

Vastaajien mukaan videodemonstraatiot motivoivat opiskelijoita ja toimivat kokeellisen työn johdantona hyvin. He painottivat, että videot soveltuvat hyvin esimerkiksi kokeellisen työn johdannoksi tai tukimateriaaliksi, mutta eivät kokonaan perinteisen kokeellisuuden korvaamiseen. Opettajat innostuivat videoiden jakamisesta Internetin välityksellä yhdessä oppilaiden kanssa.

(V14) “Videot toimivat kokeelliseen työhön motivointina ja johdantona – ei korvaa kokeellisuutta”

Vastaajat kokivat animaatiot erittäin hyödyllisiksi kokeellisen työn rinnalle, sillä ne visualisoivat molekulaarista tasoa. He arvostivat kehittämisessä käytettyä ChemSense-ohjelmistoa ilmaisen hinnan ja helppokäyttöisyyden vuoksi. Opettajat keskustelivat työpajassa esimerkiksi, miten oppilaat voisivat helposti ladata ohjelmiston kotikoneelle ja

innostua tutkimaan kemiaa myös vapaa-aikanaan. Opettajat arvioivat oppilaiden todennäköisesti motivoituvan animaatioiden avulla. Opettajat arvostivat valmista linkkipankkia, sillä se säästää heiltä työaikaa.

(V4) *“Animaatiot pystyy helposti liittämään kokeellisuuteen, saa mikrotason kuvan.”*

(V26) *“Havainnollistaa, silmillä näkee paremmin kuin, jos pitäisi kuvitella”*

(V6) *“ChemSense-ohjelma (ilmainen) vaikuttaa ainakin hyvin mielenkiintoiselta vaihtoehdolta kemian mikroskooppisen tason opetuksen, jos vertaa oppikirjojen liikkumattomiin kuviin...”*

Kehitettyjen materiaalien mahdollisia vaikutuksia oppimiseen arvioitiin viisiportaisella Likert-asteikolla (täysin eri mieltä = 1, eri mieltä = 2, ei samaa eikä eri mieltä = 3, samaa mieltä = 4 ja täysin samaa mieltä = 5) (Liite 8, mittari C). Opettajat ja opiskelijat olivat samaa tai täysin samaa mieltä siitä, että kokeellisuuden tukeminen TVT:n avulla auttaa kemian käsitteiden ja ilmiöiden havainnollistamista ($ka=4,4$; $s=0,58$), opettamista ($ka=4,4$; $s=0,51$) ja oppimista ($ka=4,4$; $s=0,58$). He myös korostivat opettajan roolia TVT:n mielekkäässä opetuskäytössä (ks. taulukko 5.3.1.2.3).

Vastaajien mukaan TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen lisäisi oppilaiden kiinnostusta kemiaa kohtaan ($ka=4,1$; $s=0,71$) ja kannustaisi heitä kemian jatko-opintoihin ($ka=3,9$; $s=0,87$). Opettajat painottivat opettajan ja teorian suurta merkitystä tekniikan mielekkäässä hyödyntämisessä: pelkkä tietokoneiden käyttö ei oppilaita kiinnosta. Vastaajien mielestä TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen kehittää oppilaiden tutkimustaitoja ($ka=3,7$; $s=0,75$), mutta osio sai myös useita neutraaleja vastauksia ($f=6$). Osan mielestä tutkimustaitojen kehittymiseen vaikuttaa eniten oppilaiden motivaatio. Väite *”TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen tukee oppilaiden luovuutta”* jakoi vastaajien mielipiteitä eniten ($ka=3,6$; $s=0,97$). Vastaajista 14 oli aiheesta samaa tai täysin samaa mieltä, mutta neljä oli myös eri mieltä. Yhden vastaajan mielestä esimerkiksi ohjelmien rajoitteet voivat heikentää luovuutta.

Taulukko 5.3.1.2.3. Opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä TVT:n ja kokeellisuuden yhdistämisen vaikutuksista kemian opetukseen ja oppimiseen (N=27)

Väitteet: TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen	f					ka	s	Ei osaa sanoa	Ei vastausta
	Täysin eri mieltä	Eri mieltä	Ei samaa eikä eri mieltä	Samaa mieltä	Täysin samaa mieltä				
havainnollistaa vaikeita käsitteitä ja ilmiöitä.	0	0	1	12	12	4,4	0,58	0	2
tukee kemian käsitteiden ja ilmiöiden opettamista.	0	0	0	14	11	4,4	0,51	0	2
tukee kemian käsitteiden ja ilmiöiden oppimista.	0	0	1	12	12	4,4	0,58	0	2
lisää oppilaiden kiinnostusta kemian kohtaan.	0	0	4	11	7	4,1	0,71	3	2
innostaa oppilaita jatko- opintoihin.	0	1	6	9	6	3,9	0,87	3	2
kehittää oppilaiden tutkimustaitoja.	0	2	6	15	2	3,7	0,75	0	2
tukee oppilaiden luovuutta.	0	4	6	10	4	3,6	0,97	1	2

(V6) *“Varsinkin molekyyli mallinnus ja animaatiot tuovat kemian mikroskooppisen tason esille, jota ei välttämättä muuten käytetä tarpeeksi kemian opetuksessa. Käsitekartat selkeyttävät oppilaille tietorakenteita ja helpottavat siten oppimista”*

(V8) *“TVT-työt ovat oppimisen, opetuksen ja tutkimuksen nykypäivää ja hyvä apuväline. Toisaalta ohjelmissa on usein rajoitteita, mikä voi vähentää luovuuden käyttöä.”*

(V24) *“Tieto- ja viestintätekniikka parantaa kemian opetusta ja oppimista, mutta oppilaiden tutkimustaidot riippuvat oppilaasta itsestään. Pelkkä tietotekniikka ei riitä innostamaan jatko-opintoihin, vaan tarvitaan myös kokeellisuutta sekä selkeää teoriaa opettajalta.”*

5.3.1.3 Yhteenveto ja pohdinta

Kehittämistutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa kehitettiin neljä TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistävää oppimisympäristöä, joiden avulla selvitettiin opettajien ja opiskelijoiden käsityksiä niiden kehittämistarpeesta, -mahdollisuuksista ja -haasteista. Käytettyjä TVT-työkaluja olivat tietokoneavusteiset käsitekartat, tietokoneavusteinen molekyyli mallinnus, animaatiot ja videot.

Tutkimus todistaa kokeellisuutta ja TVT:aa yhdistävien oppimisympäristöjen tarpeen olevan suuri. Kokeellinen työskentely oli opettajille yleinen työskentely tapa, mutta

kokeellisuuden tukeminen TVT:n avulla oli harvinaista. Pääsyyn tähän olivat taitojen, tietojen ja resurssien puute. Yleisesti opettajat toivoivat voivansa yhdistää niitä tulevaisuudessa enemmän, mutta he tarvitsisivat siihen tukea valmiin materiaalin ja koulutuksen muodossa. Tulokset korreloivat Akselan ja Karjalaisen (2008) ja Akselan ja Lundellin (2008) tutkimusten kanssa, joissa kemian opetuksen tilaa tutkittiin Suomessa sekä yleisestä että molekyylihallinnuksen näkökulmasta.

Kehittäjien, opettajien ja opiskelijoiden mukaan TVT:aa ja kokeellisuutta mielekkäästi yhdistävä oppimisympäristö on aikaa säästävä ja turvallinen ja motivoi oppilaita, korostaa yhteistoiminnallisuutta ja aktivoi korkeamman tason kognitiivisia prosesseja. Oppimisympäristön avulla voidaan visualisoida kemiallisia ilmiöitä ja prosesseja käsite-, makro- ja submikrotasolla sekä symbolisella tasolla. Samankaltaisia tuloksia on raportoitu myös useissa muissa tutkimuksissa (vrt. Aksela & Lundell, 2008; Jonassen, 1999; Kiliç et al. 2004; Laroche et al. 2003; Özmen et al. 2009). Lisäksi TVT:n avulla voidaan tukea käsitehierarkioiden muodostumista sekä niiden edistävää eriytymistä ja eheytyvää yhdistymistä (vrt. Novak, 1998, 78-85). Huomattavaa on, etteivät kehittäjät hyödyntäneet oppimisympäristöissään monipuolisemmin tutkimuksellista tai kontekstuaalista lähestymistapaa, jotka ovat olennaisia mielekkään kemian opetuksen tekijöitä (esim. Gilbert, 20006; Millar, 2004; Nakhleh et al. 2002).

Kemian opettajien ja opiskelijoiden käsitysten mukaan TVT:n ja kokeellisuuden yhdistäminen tukee kemian opetusta ja oppimista (vrt. Aksela & Lundell, 2008; Kozma & Russell, 2005; Tasker & Dalton, 2006; Velázquez-Marcano et al. 2004; Vermaat et al. 2003). Se myös herättää kiinnostusta kemian opintoja kohtaan (vrt. Aksela & Lundell, 2008; Kiliç et al. 2004) ja kehittää tutkimustaitoja (vrt. Hofstein & Lunetta, 2004). Vastaajat myös korostivat opettajan merkityksen olevan TVT:n mielekkäässä hyödyntämisessä suuri.

Tämä pilottitutkimus todisti TVT:n ja kokeellisuuden yhdistävillä oppimisympäristöillä olevan paljon potentiaalia, ja niiden kehittämistä oli tarvetta tutkia lisää. Kehittämistutkimuksen toisessa vaiheessa (2010-2011) kehitettyjen oppimisympäristömallien kehittämistyötä jatkettiin seuraavan KOKE II -kurssin opiskelijoiden kanssa.

5.3.2 Vaihe 2: Malliteoriaan pohjautuva yhteisöllinen kehittämistutkimus tutkimusperustaisen kemianopetuksen työtapana

Kehittämistutkimuksen ensimmäisen osan päätuloksena syntyi kehittämistuotoksia, joiden avulla tutkittiin, millaisia käsityksiä opettajilla ja opiskelijoilla on TVT:n ja kokeellisuuden yhdistämisestä. Kehittämistuotokset ovat sidoksissa aikaan, paikkaan ja kehittämiskontekstiin, joten niiden yleistettävyyden sellaisenaan on haasteellista (vrt. Edelson, 2002). Opiskelijat pyrkivät esimerkiksi hyödyntämään kehittämistyössään heille tuttuja yliopiston tarjoamia TVT-resursseja, kuten kaupallisia molekyylihallinnusohjelmistoja. Näitä resursseja ei ole käytössä kouluissa, joten oppimisympäristöt eivät sellaisenaan sovi kemian opettajien opetusmateriaaliksi, mikä ei tue innovaation käyttöönottoa kouluissa (vrt. Fishman et al. 2004; Rogers, 1995).

Kehittämistutkimuksen toisessa vaiheessa pyrittiin ottamaan huomioon kehittämistutkimus kokonaisvaltaisemmin ja tutkimuksen painopiste siirrettiin kehittämisprosessien tarkasteluun. Tarkastelemalla kehittämisprosesseja ja niihin liittyviä kehittämispäätöksiä saadaan tietoa kehittämiseen sisältyvästä strategisesta tiedosta (vrt. Edelson, 2002). Tutkimuksen toisen vaiheen tavoitteena oli tutkia malliteoriaan pohjautuvan yhteisöllisen kehittämistutkimuksen mahdollisuuksia ja haasteita tutkimusperustaisen kemianopetuksen toteutusmenetelmänä.

Aihetta tutkittiin suorittamalla kahdeksan malliteoriaan pohjautuvaa yhteisöllistä kehittämistutkimusta, joissa opiskelijat toimivat kehittäjinä. Opiskelijat kirjoittivat kehittämistutkimuksistaan ryhmittäin kehittämiskuvaukset. Niistä tutkittiin kemian aineenopettajaopiskelijoiden käsityksiä malliteoriaan pohjautuvan kehittämistutkimuksen mahdollisuuksista ja haasteista. Menetelmänä oli laadullinen aineistolähtöinen sisällönanalyysi (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 108-113). Suoritetun tutkimuksen tavoitteena oli myös tukea tutkimusperustaista kemian opetusta ja TVT-innovaation siirtymistä tulevien kemian opettajien opetukseen sitouttamalla heidät oppimisympäristöjen kehittämiseen aktiivisen kehittäjän roolissa. Tutkimuksen toista vaihetta ohjasi tutkimuskysymys: *Millaisia mahdollisuuksia ja haasteita malliteoriaan pohjautuva yhteisöllinen kehittämistutkimus tuo tieto- ja viestintätekniikkaa ja kokeellisuutta yhdistävien oppimisympäristöjen kehittämiseksi kemian aineenopettajaopiskelijoiden käsitysten mukaan?*

5.3.2.1 Tutkimuksen eteneminen

Tutkimuksen toinen vaihe toteutettiin ensimmäisen vaiheen tapaan Helsingin yliopiston kemian laitoksen kemian aineenopettajaopintojen syventävän KOKE II -kurssin Modernit oppimisympäristöt -moduulin yhteydessä. Oppimisympäristöjen kehittäjinä toimivat kurssille keväällä 2010 osallistuneet kemian aineenopettajaopiskelijat (N=30). Opiskelijat jakautuivat kurssilla neljään TVT-ryhmään omien kiinnostustensa mukaisesti.

Valittavat TVT-ryhmät poikkesivat hieman tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa tarjotuista vaihtoehdoista. Mittausautomaatio- ja videoryhmä poistettiin, ja valittavaksi tilalle

nostettiin simulaatioryhmä. Valittavina ryhminä olivat 1) animaatiot, 2) tietokoneavusteiset käsitekartat, 3) tietokoneavusteinen molekyylimallinnus ja 4) simulaatiot. Opiskelijoilla oli tehtävänantona ensimmäisen vaiheen mukaisesti kehittää TVT-ryhmissä kokeellinen työ, jossa oppimista ja opetusta tuetaan TVT:n avulla. Opiskelijoita kannustettiin aikaisempaa kokonaisvaltaisempaan kehittämiseen, ja heille annettiin huomioon otettavia haasteita enemmän kuin ensimmäisessä vaiheessa. Opiskelijoiden tuli ottaa kehittämisessä huomioon

- opetussuunnitelmien perusteet,
- aikaisempi tutkimustieto,
- mielekkään kemianoppimisen kriteerit,
- erilaiset oppimisympäristötekijät,
- ajattelutaidot ja kemian tietotasot ja
- korkea käytettävyys, joka määriteltiin seuraavasti: suoraan opettajien käyttöön soveltuva helppokäyttöinen, saavutettava, tehokas, testattu, opetussuunnitelmiin ja tutkimustietoon pohjautuva oppimisympäristö (vrt. ensimmäisen vaiheen haasteet luku 5.3.1.1).

Tutkija toimi kurssin opettajana, vastasi kehittämistutkimuksen päälinjojen koordinoinnista ja auttoi tarvittaessa tutkimuksen suorittamisessa ja teknologian käytössä. Opiskelijoita kannustettiin jakamaan ryhmien sisällä vastuukehittämisalueet sekä valitsemaan puheenjohtajan, joka pitäisi yhteyttä kurssin opettajaan. Toisen vaiheessa kehittäminen toteutettiin malliteoriaan pohjautuvana yhteisöllisenä kehittämistutkimuksena, joka sisälsi kolme vaihetta (ks. kuva 5.3.2.1):

1) Yksilövaihe: historialliseen malliin tutustuminen ja mentaalimallien muodostaminen

Opiskelijat tutustuivat ensin itsenäisesti tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa kehitettyihin oppimisympäristöihin (Liitteet 4-7) ja pilottivaiheesta kirjoitettuun artikkeliin Pernaa & Aksela (2009). Opiskelijat suorittivat etätehtävän, jossa he kirjoittivat aineiston pohjalta kahden sivun mittaisen pohtivan esseen, joka palautettiin ennen moduulin avausluentoa Moodle-oppimisympäristöön. Essee arvosteltiin asteikolla 1-3, hylätty. Moduulin avausluennolla etätehtävästä keskusteltiin viiden minuutin ajan pareittain tai pienryhmissä, minkä jälkeen tutkija alusti kehittämistutkimuksen etätehtävän koonnilla sekä kokeellisuutta ja TVT:aa, malleja ja kehittämistutkimusta käsittelevällä avausluennolla.

Perustelu: Yksilövaiheen tavoitteena oli tutustuttaa opiskelijat kehittämistutkimuksen historialliseen malliin, joka antaisi heille kehittämiskontekstiin liittyviä mahdollisuuksia ja haasteita koskevia teoreettisia työkaluja. Tämän tavoitteena oli tukea heidän alustavan sisäisen mallinsa rakentamista. Näin pyrittiin myös ottamaan huomioon kehittämistutkimuksen iteratiivinen luonne (vrt. Edelson, 2002). Alustavaa sisäistä mallia testattiin kevyesti julkistamalla se pienryhmässä, minkä jälkeen sisäisiä malleja kehitettiin

opettajajohtoisesti asiantuntijaluennon myötä. Vaikka yksilövaiheeseen sisältyi sisäisen mallin työstämistä pienryhmissä, nimettiin tämä vaihe kuitenkin yksilövaiheeksi, sillä vastuu työskentelystä oli yksittäisellä opiskelijalla.

2) Ryhmävaihe: yhteisymmärrysmallin rakentaminen pienryhmässä

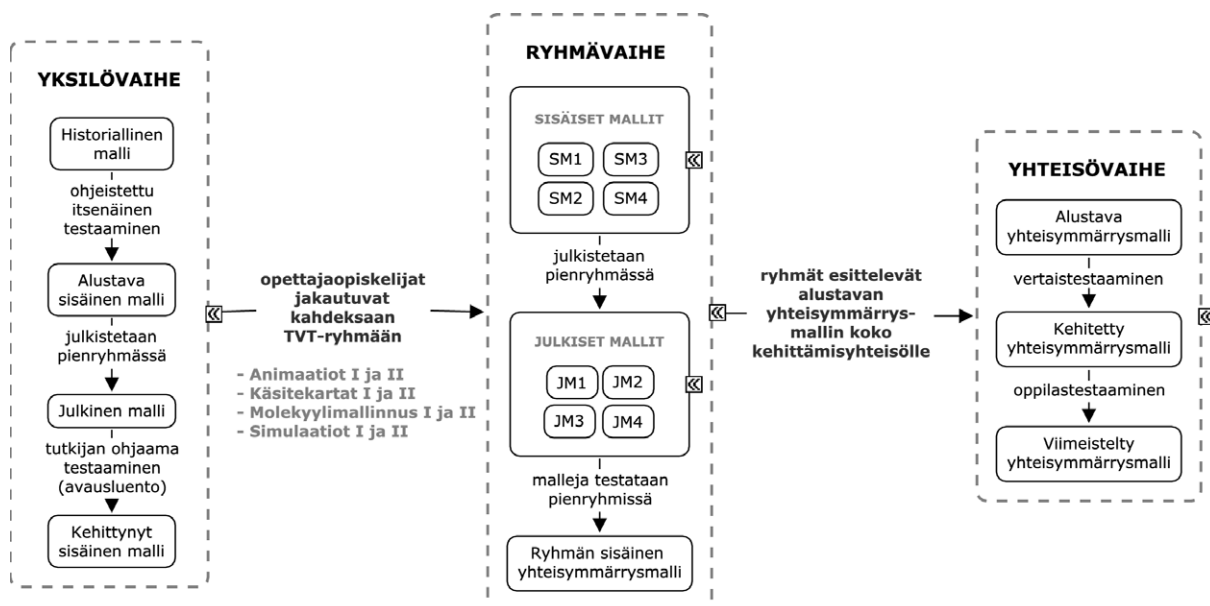
Yksilövaiheen jälkeen opiskelijat jakautuivat kiinnostustensa mukaisesti kahdeksaan TVT-ryhmään (Animaatiot I (4 henkeä) ja II (3 henkeä), Käsitekartat I (3 henkeä) ja II (4 henkeä), Molekyyylimallinnus I (4 henkeä) ja II (4 henkeä) sekä Simulaatiot I (4 henkeä) ja II (4 henkeä)). Opiskelijat julkistivat pienryhmissä kehittyneet sisäiset mallinsa ja ryhtyivät työstämään moduulin tehtävänannon mukaisesti yhteisymmärrystä ryhmän valitsemalla tavalla. Työskentelyyn sisältyi ainakin opetussuunnitelmiin, aikaisempaan tutkimuskirjallisuuteen ja teknologiaan tutustumista sekä kehittämiskontekstin luomista.

Perustelu: ryhmävaiheen aikana opiskelijat testasivat julkisia malleja ja yrittivät löytää yhteisymmärryksen kehittämiskontekstista ja -prosesseista, jotka esiteltäisiin koko kehittämissyhteisölle tutkimuksen seuraavassa vaiheessa.

3) Yhteisövaihe: yhteisymmärrysmallin esitleminen kehittämissyhteisössä ja testaaminen oppilasryhmällä

Ryhmät esittelivät ensin alustavan yhteisymmärrysmallin (kehittämistuotos I) koko kurssille, joka vertaisarvioi kehitetyt oppimisympäristöt. Alustavia yhteisymmärrysmalleja kehitettiin vertaispalautteen pohjalta. Kehitettyjen yhteisymmärrysmallien (kehittämistuotos II) toimivuutta testattiin Kemianluokka Gadolinin toiminnan yhteydessä vierailevilla oppilasryhmillä. Ryhmien tuli suorittaa pieni tapaustutkimus, jossa testattiin, miten oppimisympäristölle asetetut tavoitteet toteutuivat käytännössä. Oppilastestaamisesta saadun palautteen pohjalta ryhmät viimeistelivät yhteisymmärrysmallinsa (kehittämistuotos III) ja kirjoittivat koko kehittämisprosessista vapaamuotoisen kehittämisraportin (kehittämiskuvaus), jossa heidän tuli tarkastella kokonaisuutena koko kehittämisprosessia, perustella erilaisia kehittämis päätöksiä ja kuvailla malleihin syntyneitä muutoksia sekä suorittaa itsearviointi.

Perustelu: Oppimisympäristömallien testaamista tutkimuksen ensimmäiseen vaiheeseen verrattuna lisättiin. Oppimisympäristöille pyrittiin tarjoamaan autenttisissa oloissa testausmahdollisuus, jonka avulla pyrittiin pienentämään tutkimuksen ja käytännön välistä kuilua (vrt. Juuti & Lavonen, 2006). Erivaiheisilla kehittämistuotoksilla korostettiin kehittämistutkimuksen iteratiivista luonnetta ja mallin kehittymistä (vrt. Edelson, 2002; Gilbert et al. 2000). Kehittämistutkimukset raportoitiin kehittämis kuvauksina. Niiden tavoitteena oli antaa kehittämisestä kokonaisvaltainen kuvaus, joka sisältää mm. kuvauksen kehittämisen alusta, lopusta ja kehittämisen aikana tehdyistä päätöksistä (vrt. Bell et al. 2003). Kehittämiskuvauksen tavoitteena oli myös auttaa kehittäjiä ymmärtämään kokonaisuutta.



Kuva 5.3.2.1. Kehittämistutkimuksen toisen vaiheen eteneminen

5.3.2.2 Tulokset: Malliteoriaan pohjautuvan kehittämistutkimuksen mahdollisuudet ja haasteet opiskelijoiden työtapana

Tässä luvussa esitellään ensin yleiskatsaus opiskelijoiden käsityksistä koko kehittämisprosessista, minkä jälkeen alaluvuissa 5.3.2.2.1-5.3.2.2.3 tarkastellaan kehittämistutkimuksen vaiheita yksitellen.

Opiskelijat kehittivät kehittämistutkimuksen aikana ryhmissä kahdeksan TVT-pohjaista kokeellisuutta sisältävää kemian oppimisympäristöä, jotka testattiin vertais- ja oppilasryhmillä. Kaikki kahdeksan ryhmää kokivat mallipohjaisen kehittämistutkimuksen raskaaksi, mutta positiiviseksi kokemukseksi. Yksi ryhmä kertoi myös jääneensä kehittämistutkimuksen jälkeen epätietoiseksi onnistumisestaan. Ryhmät raportoivat kehittämistutkimuksen muun muassa kehittävän tutkimustaitoja, antavan kehittämistyökaluja tulevaan opettajan ammattiin ja parantaneen asenteita TVT:aa kohtaan. Opiskelijoille syntyi myös käsitys kehittämistutkimuksesta tutkimusmenetelmänä.

”Näin jälkikäteen ajateltuna, olemme hyvin tyytyväisiä, että lähdimme kehittämään tuotoksestamme WWW-pohjaista. Kuitenkin itse työn aikana kehittäminen toi hyvin paljon lisätyömäärää. Materiaalin kehittämisen voisikin sanoa olevan loputon työ, josta aina voi löytää jotakin parannettavaa.” (Raportti 6)

”Osa meistä oppi käyttämään mallinnusohjelmaa ja eräänlaiset ennakkoluulot mallinnusta kohtaan hälvenivät.” (Raportti 5)

”Työn aikana olemme itse nähneet, että idean työstäminen toimivaksi oppimisympäristöksi vaatii työn hiomista. Kehittämisprosessissamme onnistuimme mielestämme mukavasti, mutta tutkimusmenetelmiä voisimme vielä tehostaa niin, että käyttäisimme yleisiä tieteellisiä menetelmiä.” (Raportti 5)

Kehittämisessä haasteeksi koettiin muun muassa uuden teknologian käyttöönotto ja yliopiston tarjoamien TVT-resurssien puute, esimerkiksi laadukkaita www-sivujen tekoon soveltuvia ohjelmistoja ei ollut tarjolla. Teknologian käyttöönotto koettiin raskaaksi, mutta toisaalta sen todettiin nopeutuvan huomattavasti ensimmäisen kokeilukerran jälkeen. Moni ryhmä hyödynsi erilaisia sidosryhmiä (esim. tuttavvia) ohjelmistojen teknisessä haltuunotossa.

”Käytännössä ensimmäisiin renderoituihin kuviin ja animaatioihin voi mennä jopa toistakymmentä tuntia, mutta työ nopeutuu käyttöjärjestelmän opetteluun jälkeen....lopulta vastaavan, noin puolen minuutin animaation tuottamiseen tulisi opituilla kyvyillä kulumaan enää noin 1,5 tuntia + renderointiaika joka oli tässä tapauksessa noin tunti käytetyllä koneella.” (Raportti 1)

Ryhmät kokivat ryhmän sisäisten vastuualueiden jakamisen tukevan kehittämistä. Vastuualueiden avulla yksi ryhmästä pystyi keskittymään esimerkiksi sisällön tuottamiseen, toinen TVT:n käyttöön ja kolmas tutkimuksen koordinointiin. Kahdeksasta ryhmästä vain yksi ei jakanut vastuualueita ja raportoi kehittämiskuvauksessaan työskentelyn olleen haastavaa ja kokonaisuuden jääneen epäselväksi. Myös hyvän ryhmähengen ja riittävän kehittämisajan koettiin edesauttavan kehittämisen onnistumista.

”Ryhmähenkemme oli loistava, mikä edesauttoi sitä, että projektin parissa oli mielekästä työskennellä.” (Raportti 7)

”Tähän vaikutti huomattavasti se, että projektiin liittyvät tavoitteet ja vaatimukset oli annettu opiskelijoille riittävän varhaisessa vaiheessa, lähes 3 kuukautta ennen kuin työt teetätettiin oppilailla.” (Raportti 8)

5.3.2.2.1 Historiallisiin malleihin tutustuminen

Historiallisiin malleihin tutustuminen suoritettiin ohjatusti etätehtävän muodossa, jolloin kaikki opiskelijat muodostivat jonkinlaisen käsityksen aihetta käsittelevästä aikaisemmasta tutkimuksesta sekä opetussuunnitelmien perusteiden näkökulmasta. Opiskelijat katsoivat sen tukevan kehittämistuotoksen opetustavoitteiden määrittelemistä. Esimerkiksi animaatiot II -ryhmä kehitti oppimisympäristönsä työskentelykontekstin jo olemassa olevan oppimisympäristömallin pohjalle.

“Työohjeiden ja koko rikostutkimuskontekstin innoittajana oli Heureka samantyyppinen rikostutkimus. Päätimme tehdä oman ohjeemme ulkoasusta ja sisällöstä samantyyllisen.” (Raportti 2)

Historiallisen mallin koettiin myös tukevan oppimisympäristön tarpeisiin soveltuvan ohjelmiston valitsemista. Kehittämistutkimuksen ensimmäisestä vaiheesta kirjoitettu artikkeli ja kehitettyjä oppimisympäristöjä refleктоiva etätehtävä antoivat opiskelijoille näkemyksen, millainen molekyylimallinnusohjelmisto parantaa kehitettävän oppimisympäristön käytettävyyttä.

”Aikaisemman vuoden molekyylimallinnusryhmä oli saanut kritiikkiä siitä, että heidän mallinnustyön ohjeet olivat tehty Spartan -ohjelmalle. Spartan on luultavasti kehittynein ja helppokäyttöisin mallinnusohjelma, mutta myös erittäin kallis. Suurimmalla osalla kouluista ei ole varaa maksaa niin suurta summaa yhdestä ohjelmasta. Päätimmekin käyttää ilmaista ChemsSketch -ohjelmaa. ChemsSketch on erittäin helppokäyttöinen, vaikka onkin englanninkielinen. Sen voi ilmaiseksi ladata Internetistä, mutta siitä on olemassa versiot vain Windowsille ja Linuxille.” (Raportti 5)

Historialliset oppimisympäristömallit tukivat myös kehitettyjen oppimisympäristöjen testaamista. Käsitekarttaryhmä II hyödynsi edellisen vuoden kyselylomaketta vertaisille suoritettuna tapaustutkimuksen suunnittelussa.

”Vertaiskyselylomakkeen teossa käytimme pohjana edellisen vuoden Kokeellisuus kemian opetuksessa II-kurssin käsitekarttaryhmän kyselylomaketta. Muokkasimme sitä haluamallamme tavalla vastaamaan paremmin ajatuksiamme siitä, minkä tyyppistä palautetta tarvitsimme.” (Raportti 4)

5.3.2.2.2 Yhteisymmärrysmallin rakentaminen pienryhmässä

Opiskelijoiden mukaan ryhmätyövaiheessa tärkeintä oli kehitettävän oppimisympäristön tavoitteiden määrittely, tarpeiden selvittäminen (teoreettinen ongelma-analyysi) ja kehittämisprosessien suunnittelu. Opiskelijat kehittivät oppimisympäristöjään kahdella tavalla: 1) ensin kehitettiin sisältö, jonka ympärille TVT rakennettiin tai 2) ensin kehitettiin oppimisympäristön TVT-osiot, joiden mukaan sisältö kirjoitettiin.

Etätehtäväartikkelin teoreettinen viitekehys muodosti keskeisen osan kehitettyjen oppimisympäristöjen teoreettisista viitekehyksistä. Artikkeleissa esiintyneiden julkaisujen lisäksi ryhmät olivat etsineet vain muutaman uuden artikkelin. Tämän koettiin kuitenkin tukeneen kehittämistä, sillä oppimisympäristön rajaamista ja teorian sisällyttämistä kehittämisprosessiin pidettiin yleisesti ottaen haastavana.

”Aiheesta teki haastavan molekyyli mallinnuksen liittäminen sähkökemian, koska aiheen mallinnus todenmukaisesti on haastavaa.” (Raportti 6)

Ryhmät sisällyttivät vierailevan oppilasryhmän opettajan kehittämisprosessiinsa kysymällä toiveita tulevan vierailun sisällöstä. Pääsääntöisesti tämän koettiin tukevan kehittämistä, mutta muuan opettaja, johon yksi ryhmä oli yhteyksissä, suhtautui TVT:n sisällyttämiseen oppilasvierailuun hyvin kriittisesti. Tämä hankaloitti ryhmän kehittämistyötä.

”Tämä ”jotain uutta” oli niin epämääräinen käsitys, että halusimme saada hieman enemmän tietoa heidän tilanteestaan. Iloksenne kuulimme luokan juuri opiskelevan orgaanista kemiaa. Ideoimme kehittyikin suuntaan, joka tukisi kohdeluokkamme orgaanisen kemian opiskelua.” (Raportti 5)

”Kun tämä ehdotus oli lähetetty opettajalle, hän kuitenkin suhtautui siihen kriittisesti, koska hänen mielestään laboratoriovierailun ei tulisi sisältää paljon asioita, jotka voi tehdä myös koulussa... ..Hänen mielestään siis teorian ja käsitekarttojen osuutta laboratoriovierailussa tuli supistaa.” (Raportti 3)

Ryhmävaiheessa opiskelijat pyrkivät tukemaan mielekästä kemian oppimista kehittämällä monikäyttöisiä kehittämistuotoksia, jotka soveltuisivat samanaikaisesti eri luokka-asteiden käyttöön. Haasteeksi he kokivat omat TVT-taidot, koulujen TVT-resurssit ja opettajien TVT-taidot. Niitä pyrittiin auttamaan hyödyntämällä ilmaisohjelmistoja ja tekemällä opettajille suunnattuja ohjeita, esimerkiksi miten oppimisympäristöä voisi käyttää.

”Tästä syystä valitsimme vedyn ja hapen reaktion. Reaktion havaitseminen on helppoa sekä animaatio reaktiosta oli suhteellisen yksinkertaista kokemattoman animaattorin toteuttaa.” (Raportti 1)

”Halusimme kuitenkin toteuttaa työme ilmaisella mallinnusohjelmalla, jotta sen voisi toteuttaa kaikissa oppilaitoksissa taloudellisista resursseista riippumatta.” (Raportti 5)

”Jotta oppimisympäristömme olisi mahdollisimman toimiva, kirjoitimme mallinnusohjelman käyttöohjeet tiivistetysti osaksi työtämme. Näin varmistimme kaikille tasapuoliset mahdollisuudet käyttää materiaaliamme.” (Raportti 6)

5.3.2.2.3 Yhteisymmärrysmallin testaaminen

Kaikki kahdeksan kehittämistutkimusryhmää pitivät vertaisryhmässä suoritettua testaamista pääosin hyödyllisenä. Vertaispalautteesta kehittäjät saivat uutta näkökulmaa kehittämiseen ja realistisia kehittämisehdotuksia. Toisaalta yhden ryhmän saama vertaispalaute oli ylikriittistä eikä kohdistunut olennaiseen, mikä häytti ryhmän työskentelyä. Oppimisympäristön voi testata vertaisryhmässä. Siksi oli mahdollista autenttisesti testata kokeellisuuden toteuttamista (esim. toimivat reagenssit), teknistä työskentelyä (esim. teknologian käyttö) ja oppimisympäristön fyysisiä puitteita (esim. istumapaikat ja valaistus) kehittäjäryhmän ulkopuolella ennen itse oppilasryhmäkontaktia. Vertaisryhmien kehittämisehdotukset kohdistuivat sekä sisältöön että TVT:n käyttöön.

”Saamassamme palautteessa oli myös ehdotettu pallo-tikkumallien mukaanottoa, mikä oli mielestämme loistava idea.” (Raportti 5)

”Vertaisryhmämme myös kyselivät meiltä, miksi aioimme tehdä ensin kokeelliset työt ja sen jälkeen vasta mallintaa yhdisteitä. Vastasimme työn olevan näin selkeämpi kokonaisuus ja voimme helpommin ohjastaa oppilaat yhteisesti ohjelman käyttöön.” (Raportti 5)

Oppilasryhmävaiheessa opiskelijat saivat paljon tietoa kehittämänsä oppimisympäristön toimivuudesta käytännössä, esimerkiksi oppimisympäristön sisältämän TVT:n käytettävyydestä, tehtävien etenemisen loogisuudesta, suunnitellun ajan riittävydestä tai miten tehtäviä tulisi kehittää paremmin korkeamman tason ajattelutaitoja aktivoivaksi. TVT:n käyttö ja sisällön tuottaminen TVT:n avulla aiheuttivat ryhmille haasteita. Ryhmät raportoivat yhtä ryhmää lukuun ottamatta, että TVT:n toimivuutta käytännön tilanteessa ei tullut testattua riittävästi. Vain käsitekarttaryhmä II raportoi TVT:n toimineen suunnitellusti.

”Pyrimme pitämään kuvat yksinkertaisina ja oppilaat arvioivatkin niitä selkeiksi”. (Raportti 1)

”Blender-animaatio on selvästi hienoin, mutta siitä on ainakin sellaisenaan hankala saada käsitys reaktionä ilman lisäapuja. Tulee väistämättä mieleen ajatus siitä, että hieno animaatio voi summentaa reaktion merkitystä ja sitä vastoin ruma animaatio vie pois kiinnostuksen kemiasta ilmiön taustalla. Paras animaatio olisi siis hyvinkin selkeä, reilusti yksinkertaistettu, upean näköinen ja hyvin selitetty.” (Raportti 2)

”CmapToolsin käytön harjoittelu ryhmän kesken ennen oppilasvierailua auttoi ja oppimisympäristömme toimi oppilaiden kanssa juuri niin kuin halusimme ja mitään teknisiä hankaluuksia ei ollut. Olimme lukinneet osan käsitekartoista, mutta myös yhteistoiminnallisten käsitekarttojen tekeminen sujui hienosti ilman mitään

häiriköintiä.” (Raportti 4)

Opiskelijat kokivat oppilasryhmillä testaamisen kehittämisen kannalta arvokkaaksi. He raportoivat oppilaiden ja vierailevan ryhmän opettajan näkemysten selvittämisen auttavan oppimisympäristön jatkokehittämisen suunnittelussa. Tässä vaiheessa kehittäminen kohdistui oppimisympäristöjen käytettävyyden kehittämiseen. Esimerkiksi opettajapalautteen pohjalta opiskelijat pyrkivät kehittämään tuotosta paremmin koulukulttuuriin soveltuvaksi ja opettajien työtä tukevaksi.

”Pienensimme työohjeen reagenssimääriä. Olimme jo aiemmin tulleet siihen tulokseen, että luminoliliuosta tehdään alkuperäisen ohjeen mukaan aivan liian suuri määrä siihen nähden, että liuosta käytetään vain muutama pisara. Oppilasvierailun aikana myös ryhmän opettaja ihmetteli käytettyjen reagenssimäärien suuruutta.” (Raportti 4)

”Lisäsimme kehittämistuotokseen myös luvun tekemästämme tutkimuksesta, sillä oppimisympäristömme käyttöä harkitsevia opettajia saattaa kiinnostaa se, että me olemme saaneet sen käytöstä positiivisia tuloksia.” (Raportti 4)

5.3.2.3 Yhteenveto ja pohdinta

Malliteoriaan pohjautuvan yhteisöllisen kehittämistutkimuksen mahdollisuuksia ja haasteita selvitettiin analysoimalla aineistolähtöisen sisällönanalyysin metodein kahdeksan kehittämistutkimuksen kehittämiskuvaukset (vrt. Tuomi & Sarajärvi, 108-113). Analyysin luotettavuutta ja uskottavuutta pyrittiin vahvistamaan esittämällä tulosten tueksi esimerkkejä alkuperäisestä aineistosta (vrt. Tuomi & Sarajärvi, 138-139).

Opiskelijat pitivät malliteoriaan pohjautuvaa yhteisöllistä kehittämistutkimusta raskaana prosessina (vrt. Collins, 1999), mutta samalla myös positiivisena kokemuksena (vrt. Bennet & Holman, 2002). Vain yksi ryhmä koki ryhmätyöskentelyn toimineen heikosti ja tunsikin samalla epätietoisuutta kehittämistutkimuksen onnistumisesta. Myös Chao et al. (2010) raportoivat kehittäjien välisellä yhteistyöllä olevan merkittävä vaikutus kehittämisen onnistumiseen. Opiskelijoiden mukaan haastavinta, mutta myös tärkeintä kehittämistutkimuksen suorittamisessa oli tarpeiden kartoittaminen ja kehittämisprosessien suunnittelu. Haasteelliseksi koettiin myös kehittämistutkimuksen avoimuus ja kehittämisen mielekäs rajaaminen (vrt. Edelson, 2002; Collins, 1999; Kelly, 2004).

Malliteoriaan pohjautuva kehittämistutkimus tukee tutkimusperustaista kemian opetusta. Opiskelijat kokivat tutkimusprosessin jälkeen ymmärtävänsä kehittämistutkimuksen tutkimusmenetelmänä sekä mainitsivat oppineensa tutkimustaitoja yleisesti (vrt. Aksela, 2020). Myös Edelsonin (2002) mukaan kehittämistutkimuksen vahvuus on yleisesti tutkijoiden kokonaisvaltaisessa ammatillisessa kehitymisessä. Ryhmän tason, opintojen

edistyneisyyden ja itsenäisyyden mukaan kehittämistutkimus toteutettiin joko tutkimuspohjaisena tai tutkimusorientoituneena (vrt. Aksela, 2010; Griffiths, 2004).

Malliteoriaan pohjautuvan kehittämistutkimuksen myötä opiskelijat pystyivät ottamaan kehittämisessään huomioon historialliset kehittämismallit. Historialliseen malliin ja aikaisempaan tutkimukseen tutustuminen ohjasi opiskelijoita kehittämään tavoiteorientoituneesti. Näin he pystyivät esimerkiksi arviomaan, millaiset kehittämisratkaisut tukisivat innovaation siirtymistä koulujen kemian opetukseen. (vrt. Juuti & Lavonen, 2006)

Ryhmävaiheessa selvitettiin kehitettävän oppimisympäristön tarpeita ja tehtiin alustava kehittämistyö. Ryhmät ottivat kehittämiseen mukaan vierailevan ryhmän opettajan. Sitä pidettiin kehittämisen onnistumiselle olennaisena, sillä yksi kehittämisen päätavoitteista oli tuottaa oppimisympäristö Kemianluokka Gadolinin oppilasvierailua varten. Yhdeksi haasteeksi koettiin uuden teknologian haltuunotto. Teknologian käytön todettiin tosin merkittävästi nopeutuvan ensimmäisen käyttökerran jälkeen. Osa ryhmistä helpotti käyttöönottoa hyödyntämällä ystävien tai muiden yhteistyökumppanien tukea, mikä esim. Wangin ja Hannafin (2004) mukaan korostuu kehittämistutkimuksessa.

Yhteisövaiheen vertaistestaaminen paransi opiskelijoiden tekemien kehittämistutkimuksien luotettavuutta. Ryhmät testasivat tuotoksiaan ryhmän ulkopuolella ja saivat palautetta kehittämisratkaisujen toimivuudesta autenttisessa ympäristössä. Vertaisarviointivaihe toimi kehittämistutkimuksen formatiivisena arviointivaiheena, jonka pohjalta kehittäjäryhmät pystyivät päivittämään kehittämistavoitteita (vrt. Edelson, 2002).

Oppilasvierailun yhteydessä suoritettua tapaustutkimusta pidettiin tärkeänä osana kehittämistutkimusta. Sen myötä kehittäjät saivat tietoa oppimisympäristön toimivuudesta käytännössä, mikä on myös kehittämistutkimuksen tavoitteiden mukaista (vrt. Edelson, 2002). Oppilasvierailun jälkeen kehittäminen kohdistui pääosin oppimisympäristön parantamiseen siten, että se soveltuisi paremmin koulukulttuuriin. Tämä tarkoitti mm. ohjeiden kehittämistä ja reagenssimäärien vähentämistä. Muutosten tavoitteena oli tukea esim. materiaalin käyttöönottoa ja näin auttaa innovaation diffuusiota (vrt. Fishman et al. 2004; Rogers, 1995).

Tutkimus osoitti malliteoriaan pohjautuvan kehittämistutkimuksen soveltuvan työtavaksi tutkimusperustaisen kemian opetuksen toteuttamisessa. Opiskelijat pystyvät kehittämään tarpeeseen kohdistettuja aikaisempaan tutkimustietoon ja historiallisiin malleihin pohjautuvia oppimisympäristöjä. He kokevat myös itse onnistuneensa kehittämisessä. Toteuttamistapa pystytään painottamaan opiskelijoiden tason ja opetustavoitteiden mukaan esim. tutkimusorientoituneeksi tai tutkimuspohjaiseksi (vrt. Griffiths, 2004). Jatkossa menetelmän soveltuvuutta tutkimusperustaisen opetuksen työtavaksi voidaan kehittää esimerkiksi kiinnittämällä enemmän huomiota ryhmien muodostumiseen, jotta innovaation diffuusiota tapahtuisi enemmän. Lisäksi opiskelijoita tulisi testaamisvaiheissa perusteellisemmin ohjeistaa laadukkaamman työskentelyn aikaansaamiseksi ja innovaation diffuusion tukemiseksi. Tulevaisuudessa malliteoriaan pohjautuvaa yhteisöllistä kehittämistutkimusta täytyy testata käytännössä myös muissa kehittämisskenaarioissa kuin TVT:n ja kokeellisuuden yhdistävien kemian oppimisympäristöjen kehittämisessä.

6 Yhteenveto, johtopäätökset ja pohdinta

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää kemian opetukseen liittyvää TVT-koulutusta kehittämistutkimusta hyödyntäen. Tutkimus toteutettiin kahdeksasta vaiheesta koostuvana tutkimusprojektina, joka sisälsi kolme kehittämistutkimusta. Kehittämistutkimuksia tarkasteltiin erillisinä tapauksina, joissa tapaukset muodostettiin kehittämisestä vastaavien tahojen mukaan. Kehittämistutkimuksien avulla pyrittiin löytämään uutta tietoa TVT-koulutuksen kehittämiskontekstien suunnittelusta (ks. luku 6.1), tavoitteiden määrittelystä (ks. luku 6.2) ja toteuttamisesta (ks. luku 6.3).

Ensimmäisessä tapauksessa kehitettiin mielekäästä kemian opetusta ja oppimista tukeva kemian verkko-oppimisympäristö, jossa kehittämisestä vastasi yksi tutkija ja opettajat osallistuivat kehittämisprosessiin arvioimalla kehittämistuotosta. Toisessa tapauksessa uudistettiin Kemian mallit ja visualisointi -kurssia siten, että se tukisi paremmin tutkimusperustaisen kemian opetuksen tarvetta ja TVT-innovaation diffuusiota. Lisäksi siinä kehitettiin korkeakouluopetukseen soveltuva kehittämistutkimusmenetelmä. Tapauksessa II kehittämisestä vastasi kolme tutkijaa ja opiskelijat osallistuivat tuotoksen arviointiin.

Kolmannessa tapauksessa kehitettiin 12 TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistävää kemian oppimisympäristöä ja testattiin tapauksessa II kehitetyn yhteisöllisen kehittämistutkimusmenetelmän soveltuvuutta tutkimusperustaisen kemianopetuksen työtavaksi. Kolmannessa tapauksessa opiskelijat toimivat vastuukehittäjinä, kehittäminen toteutettiin yhteisöllisesti ja tutkija avusti tarvittaessa tutkimuksen toteutuksessa ja koordinoi tutkimuksen päälinjat.

Taulukossa 6 esitetään yhteenveto suoritettujen kehittämistutkimusten etenemisestä, menetelmistä, päätuloksista, tavoitteista ja tutkimusten luotettavuustarkasteluista. Sen jälkeen alaluvuissa 6.1-6.3 vastataan tutkimuksen kolmeen päätutkimuskysymykseen: luku 6.1 kehittämistuotos, 6.2 ongelma-analyysi ja luku 6.3 kehittämisprosessi. Lisäksi alaluvussa 6.4 pohditaan tärkeimpiä tutkimuksista syntyneitä jatkotutkimuskohteita ja tutkimusprojektin merkittävyyttä kansainväliselle ja kansalliselle kemian opetuksen tutkimukselle.

Taulukko 6. Yhteenvedo suoritetuista kehittämistutkimuksista

#	Tavoite	Tutkimuksen eteneminen ja menetelmät	Päätulokset	Luotettavuus (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 138-139)
1	Mielekästä kemian oppimista tukevan verkko-oppimisympäristön kehittäminen	<p>Vaihe 1: Alustava kehittämisprosessien suunnittelu</p> <p>Vaihe 2: Oppimisympäristön kehittäminen</p> <ul style="list-style-type: none"> Tarveanalyysi (teoreettinen ongelma-analyysi laadullisena aineistolähtöisenä sisällönanalyysinä) Alustava kehittäminen (sidosryhmien hyödyntäminen kehittämisessä) <p>Vaihe 3: Kehittämistuotoksen arviointi (tapaustutkimus N=17)</p> <p>Vaihe 4: Jatkokehittäminen ja raportointi</p> <ul style="list-style-type: none"> Kääntäminen englanniksi Käsitekarttojen selkeyttäminen Pro gradu ja kolme tieteellistä artikkelia Kokeellisten töiden kehittäminen (sidosryhmien hyödyntäminen kehittämisessä) 	<p>1) Kahdella kielellä käytettävä mielekästä kemian oppimista tukeva hyönteisten kemian verkko-oppimisympäristö, jossa käytettävyyttä tuetaan kokeellisten töiden ja tietokoneavusteisen mallinnuksen avulla</p> <p>2) Tietoa yhden tutkijan suorittamasta kehittämistutkimuksesta</p>	<p>Luotettavuus ja vahvistettavuus: Tutkimuksesta kirjoitetut tieteelliset artikkelit ovat käyneet läpi kahden-kolmen refereen arviointimenettelyt.</p> <p>Uskottavuus ja luotettavuus: Analyysitulokset perusteltu esimerkkien avulla</p> <p>Siirrettävyys:</p> <ul style="list-style-type: none"> Osa kehittämistuotoksista käytössä myös kaupallisissa tarkoituksissa Osa kehitetystä oppimisympäristöstä vahvassa käytössä Kemianluokka Gadolinin toiminnassa
2	Kemian mallit ja visualisointi -kurssin uudistaminen ja malliteoriaan pohjautuvan yhteisöllisen kehittämistutkimusmenetelmän kehittäminen	<p>Vaihe 1: Kemian mallit visualisointi -kurssin uudistaminen</p> <ul style="list-style-type: none"> Historiallisen mallin analysointi (tarveanalyysi ja historiallinen tutkimus) Sisäisen mallin rakentaminen (3 kpl) Sisäisen mallin julkistaminen pienryhmässä Julkisten mallien sulauttaminen yhdeksi yhteisymmärrysmalliksi <ul style="list-style-type: none"> Kehittämispäätösten dokumentointi visuaalisilla malleilla Kehittämiskuvauksen kirjoittaminen (Pernaa et al. 2010) <p>Vaihe 2: Kehittämisen arviointi</p> <ul style="list-style-type: none"> Formatiivinen arviointi kurssiin aikana <ul style="list-style-type: none"> Laadullinen tapaustutkimus (N=18) Summatiivinen arviointi kurssin jälkeen <ul style="list-style-type: none"> Laadullinen tapaustutkimus (N=23) Ulkoinen arviointi <ul style="list-style-type: none"> Semistrukturoitu haastattelu (N=3) ja aineistolähtöinen sisällönanalyysi <ul style="list-style-type: none"> Tieteellisen artikkelin kirjoittaminen (Vesterinen et al. 2011) 	<p>1) Paremmin kemian opetuksen tarpeita palveleva Kemian mallit ja visualisointi -kurssi</p> <p>2) Tietoa TVT-innovaation diffuusiosta</p> <p>3) Korkeakoulu-opetuksen ja tutkimusperustaisen kemian opetuksen kehittämiseen soveltuva uudentyyppinen kehittämistutkimusmenetelmä</p>	<p>Luotettavuus ja vahvistettavuus: Tutkimuksesta kirjoitetut tieteelliset artikkelit (2 kpl) ovat käyneet läpi kahden-kolmen refereen arviointimenettelyt.</p> <p>Uskottavuus ja luotettavuus:</p> <ul style="list-style-type: none"> Analyysitulokset on perusteltu esimerkkien avulla, ja sisällön-analyysien luokat varmistettiin vertaisluokittelulla. Vertaisluokittelun kappa-arvot olivat erittäin korkeita (0,78-1) (vrt. Sim & Wright, 2005). Mittarit rakennettiin tutkimustietoon pohjautuen ja kuvattiin menetelmä-osassa yksityiskohtaisesti. Historiallisessa tutkimuksessa laadukas aineisto (primääri). Triangulaatio (metodologinen ja aineistoon kohdistuva) (Tuomi & Sarajärvin 2009, 143-149) Kehittämispäätökset visualisoitu visuaalisilla malleilla <p>Siirrettävyys: Kehitetty tutkimusmenetelmä on siirretty sellaisenaan kaupalliseen käyttöön ja tutkimusperustaisen kemian-opetuksen työtavaksi (tutkimus III)</p>

3	<p>TVT-pohjaisten kemian oppimisympäristöjen kehittäminen, kehittämistarpeen arvioiminen ja malliteoriaan pohjautuvan kehittämis-tutkimuksen testaaminen tutkimus-perustaisen kemianopetuksen työtapana</p>	<p>Vaihe 1: TVT:aa ja kokeellisuutta yhdistävien oppimis-ympäristöjen kehittäminen ja kehittämistarpeiden analysoiminen (pilottitutkimus)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opiskelijat (N=21) kehittävät kehittämistutkimuksen avulla oppimisympäristöjä (4 kpl) • Kehittämisen arviointi <ul style="list-style-type: none"> ◦ Työpajoja Kemian opetuksen päville 2009 <ul style="list-style-type: none"> ▪ Työpajojen havainnointi ▪ Laadullinen tapaustutkimus (N=27) • Tutkimuksen raportointi tieteellisenä artikkelina (Pernaa & Aksela, 2009) <p>Vaihe 2: Malliteoriaan pohjautuva yhteisöllinen kehittämis-tutkimus tutkimusperustaisen kemianopetuksen työtapana</p> <ul style="list-style-type: none"> • Opiskelijat (N=30) kehittävät oppimisympäristöjä <ul style="list-style-type: none"> ◦ Historiallinen malli: Vaiheen 1 tuotokset ja julkaisu (Pernaa & Aksela, 2009) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sisäisen mallin rakentaminen ◦ Ryhmävaihe (8 kpl) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Sisäisen mallin julkistaminen pienryhmässä ▪ Alustavan yhteisymmärrysmallin rakentaminen ◦ Kotiryhmän yhteisymmärryksen arviointi kehittämis-yhteisössä <ul style="list-style-type: none"> ▪ Yhteisymmärrysmallin kehittäminen ◦ Kehitetyn oppimisympäristön testaaminen käytännössä oppilailla <ul style="list-style-type: none"> ▪ Yhteisymmärrysmallin kehittäminen ja kehittämiskuvausten kirjoittaminen • Kehittämiskuvausten (N=8) analysointi laadullisen aineistolähtöisen sisällönanalyysin metodein 	<p>1) 12 oppimis-ympäristöä, joissa mielekästä kemian opetusta ja oppimista tuetaan kokeellisuuden ja TVT:n avulla</p> <p>2) Tietoa mielekkään kemianoppimisen ja innovaation tukemisesta</p> <p>3) Tietoa malliteoriaan pohjautuvan yhteisöllisen kehittämis-tutkimuksen soveltamisesta osana tutkimusperustaista kemian opetusta</p>	<p>Luotettavuus ja vahvistettavuus: Tutkimuksesta kirjoitetut tieteelliset artikkelit (2 kpl) ovat käyneet läpi kahden-kolmen refereen arviointimenettelyt.</p> <p>Uskottavuus ja luotettavuus:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Analyysitulokset on perusteltu esimerkkien avulla - Mittarit rakennettiin tutkimustietoon pohjautuen ja kuvattiin menetelmä-osassa yksityiskohtaisesti. - Triangulaatio (metodologinen ja aineistoon kohdistuva) (Tuomi & Sarajärvin 2009, 143-149). - Kehittämisprosessin tarkka kuvaaminen (vrt. Dede, 2004) <p>Siirrettävyys: Kehitetyt oppimis-ympäristöt siirtyvät kehittäjien mukana koulumaailmaan (vrt. Bennet & Holman, 2002; Fishman et al. 2004; Hall & Hord, 1987; Juuti et al. 2009; Rogers, 1962, 1995)</p>
---	---	---	--	---

6.1 Mielekästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevan oppimisympäristön ominaisuuksia

Tässä luvussa tarkastellaan rinnakkain kolmen tapaustutkimuksen tuloksia. Tavoitteena on löytää uutta tietoa mielekästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevan TVT-oppimisympäristön ominaisuuksista. Mielekkään oppimisen teorian mukaan oppimisessa olennaisinta on opiskelijan sisäinen motivaatio, jota voidaan edistää mielekkään kemian-oppimisen huomioon ottavilla oppimisympäristöillä (Novak, 1998). Tässä tutkimuksessa mielekästä kemian oppimista pyrittiin tukemaan muun muassa kokeellisuudella (esim. Nakhleh et al. 2002; Millar, 2004), kontekstuaalisuudella (esim. Gilbert, 2006), TVT:n hyödyntämisellä (esim. Aksela, 2005; Russell et al. 1997) tai käyttämällä opetuksessa esimerkiksi tutkimuksellista lähestymistapaa (esim. Millar, 2004). Oppimisympäristöjen kehittämisessä oletettiin lähtökohtaisesti tutkimustiedon perusteella, että avoimuus ja TVT:n hyödyntäminen lisäävät kemian oppimisympäristön mielekkyyttä ja motivoivat opiskelijoita (esim. Aksela, 2005; Kozma & Russell, 2005; Russell et al. 1997; Russell & Kozma, 2005). Yllä mainittuja mielekästä kemian oppimista edistäviä toimintatapoja sisällytettiin oppimisympäristöihin, jotta tulisi varmistetuksi tutkimustietoon pohjautuva iteratiivinen kehittäminen. Se on esimerkiksi Edelsonin (2002) mukaan olennaista laadukkaassa kehittämisessä.

Tapaustutkimusten I ja III mukaan TVT:lla on paljon potentiaalia mielekkään kemian-oppimisen tukemisessa. TVT mahdollistaa esimerkiksi uudentyypisten visualisointityökalujen käytön, joiden myötä esimerkiksi submikroskooppista tasoa voidaan tarkastella aikaisempaa konkreettisemmin. (vrt. Aksela & Lundell, 2008; Pernaa & Aksela, 2009; Webb, 2005) Laadukkaiden opetusvisualisointien avulla oppilaiden submikrotason mentaalimallit kehittyvät ja opetusta pystytään ohjaamaan kemialle luonteenomaisempaan suuntaan, mallien avulla työskentelyyn (vrt. Gilbert et al. 2000; Rapp, 2004; Webb, 2005).

Esimerkiksi tämän tutkimuksen tapauksessa II kehittäjät pyrkivät hyödyntämään TVT:aa opetusta monipuolistavana menetelmänä, jossa opettajalla on pääosin aktiivinen rooli. Tämä korostaa opettajan suurta merkitystä TVT:n mielekkäässä hyödyntämisessä (vrt. Fishman et al. 2004). Tutkimusten mukaan opettajat katsovat TVT:n käyttötaitojensa olevan osin puutteellisia (esim. Aksela & Karjalainen, 2008). Innovaation diffuusioteorian näkökulmasta he kuitenkin edustavat kemian asiantuntijoita ja ovat myös sen vuoksi avainroolissa TVT-pohjaisen opetusinnovaation diffuusion etenemisessä (vrt. esim. Donnelly et al. 2011).

Tutkittaessa kehitettyjä oppimisympäristöjä kemian opetuksen kontekstissa todettiin mielekästä kemian oppimista tukevan kemian TVT-oppimisympäristön olevan opettajan työtä helpottava (vrt. Fishman et al. 2004) ja oppilaita motivoiva (vrt. Novak, 1998) turvallinen (vrt. Laroche et al. 2003) oppimisympäristö, joka mahdollistaa samanaikaisesti usean erilaisen pedagogisen tavoitteen toteutumisen (vrt. Multisilta, 1997; Krathwohl, 2002) ja korkeamman tason kognitiivisten prosessien aktivoimisen (vrt. Anderson & Krathwohl, 2001; Aksela,

2005). TVT-innovaation diffuusiota tukeva oppimisympäristö taas on suomalaisen koulukulttuuriin soveltuva avoimeen lähdekoodiin pohjautuva laadukas ja helppokäyttöinen oppimisympäristö (vrt. Aksela et al. 2008; Fishman et al. 2004) (ks. kuva 6.1).

Opettajan työtä ja TVT-innovaation diffuusiota voidaan tämän tutkimuksen perusteella tukea esimerkiksi ohjelmistojen suomenkielisillä käyttöoppailla, ottamalla huomioon opettajien toiveet kehittämispäätöksissä, monipuolisella raportoinnilla ja valmiilla pedagogisilla malleilla. Näin saadaan aikaan käyttäjien tarpeisiin soveltuva oppimisympäristö, jonka leviämistä tuetaan laaja-alaisella viestinnällä. Opettajan ei tarvitse itse käyttää aikaa uusien ratkaisujen etsimiseen, vaan tieto leviää valmiiden kemian opettajille tarkoitettujen viestintäkanavien välityksellä (esim. Kemian opetuksen päivät ja LUMA Sanomat). Kokeellisten töiden julkaisukanavana voidaan hyödyntää Kemianluokka Gadolinia, kuten tämän tutkimuksen ensimmäisessä tapauksessa (ks. luku 5.1). Kemian opettajan täytyy kuitenkin ensin verkostoitua palveluiden käyttäjäksi, ennen kuin ne tarjoavat uusia opetusresursseja.

Tutkimuksen aikana kehittäjät näkivät huomattavan paljon vaivaa oppimisympäristöissä käytettyjen TVT-työkalujen suomenkielisten käyttöoppaiden laatimiseen. Tämä on perusteltua, sillä tarkasteltaessa innovaation diffuusiota yksilötasolla on käyttöönottopäätöksen jälkeen mekaanisen harjoittelun ja käytön rutinoitumisen vaiheet (vrt. Hall & Hord, 1987). Verkon kautta materiaali pystytään tehokkaasti jakamaan ja opettajat voivat harjoitella innovaation omaksumista ajasta ja paikasta riippumatta (vrt. Kalliala, 2002). Kehittäjät rakensivat käyttöoppaat poikkeuksetta pdf-muotoon, jonka vahvuutena on monikäyttöisyys. Se soveltuu sekä tulostukseen että suoraan tietokoneen näytöltä lukemiseen. Lisäksi niiden tekeminen onnistuu avoimen lähdekoodin ratkaisulla (esim. Open Office). Pdf:n heikkoutena on oppimisympäristön sivumäärän ja tiedostokoon kasvaminen. Sivumäärien kasvu tekee oppimisympäristöstä opettajalle vaikeammin omaksuttavan. Tämä haaste voidaan ratkaista tiedon korkeatasoisella jäsentämisellä, kuten käyttämällä esimerkiksi käsitekarttoja verkko-oppimisympäristössä (ks. Pernaa & Aksela, 2008a-b).

Ohjekirjat ovat usein hyvin kuvapainotteisia, mikä kasvattaa tiedoston kokoa. Tosin suuri tiedosto ei nykyisin ole käytettävyyden kannalta merkittävä ongelma. Tietokoneiden tallennustilat, tehokkuudet ja Internet-yhteyksien nopeudet ovat nousseet viime vuosina nopeasti, joten myös suuria dokumentteja voidaan nopeasti ladata Internetistä, käyttää tavallisella kannettavalla tietokoneella ja tallentaa lukemattomia määriä kovalevylle. Tiedostokoon on kuitenkin toistaiseksi oltava alle kahdeksan megabittia, jotta se voitaisiin lähettää yleisimmillä käytössä olevilla sähköpostipalvelimilla. Sähköpostijakelua toimivampi ratkaisu olisi jakaa materiaali Internetin välityksellä. Näin opettaja voisi itse valita ladattavat materiaalit, mikä sitouttaisi opettajan myös osaksi materiaalipalvelua ja samalla lisäisi käyttökokemuksen mielekkyyttä. Internet-pohjaiset ohjekirjat mahdollistaisivat myös interaktiivisten elementtien lisäämisen ohjekirjoihin ilmaisteknologiaa hyödyntäen (esim. html ja ruutukaappaus), kun taas interaktiivisten pdf-dokumenttien tekeminen vaatii maksullisten ohjelmistojen hankkimista.

Tutkimuksen mukaan opettajat haluaisivat avoimeen lähdekoodiin tai vapaisiin ohjelmistoihin pohjautuvia oppimisympäristöjä. Kehitettävien oppimisympäristöjen tulisi olla ilmaisia, sisällöllisesti laadukkaita, visuaalisesti näyttäviä, helppokäyttöisiä ja suomenkielisiä (vrt. Aksela et al. 2008; Pernaa, 2010). Vaikka avoimet ja vapaat ohjelmistoratkaisut ovat ilmaisia ja sen puolesta soveltuvat kouluille, ei niiden opetuskäyttö ole täysin ongelmaton. Niiden kehitys on usein keskeneräistä, käyttäjätuki heikosti organisoitu ja vain harvat avoimet kemian ohjelmistot ovat visuaalisesti näyttäviä, helppokäyttöisiä tai täysin suomenkennettuja (poikkeuksena Jmol (Jmol, 2011)). Käytännössä avoimet ratkaisut vaativat opettajilta enemmän aikaa ja TVT-osaamista kuin kaupalliset ratkaisut. Ne myös kuormittavat ylläpitoa tavallista enemmän esimerkiksi asennus- ja tukipyyntöjen muodossa. Avoimet ratkaisut sisältävät myös paljon potentiaalia, mutta niiden hyötyjen kokonaisvaltainen käyttöönotto vaatisi jonkin verran tutkimusta ja tuotekehittelyä.

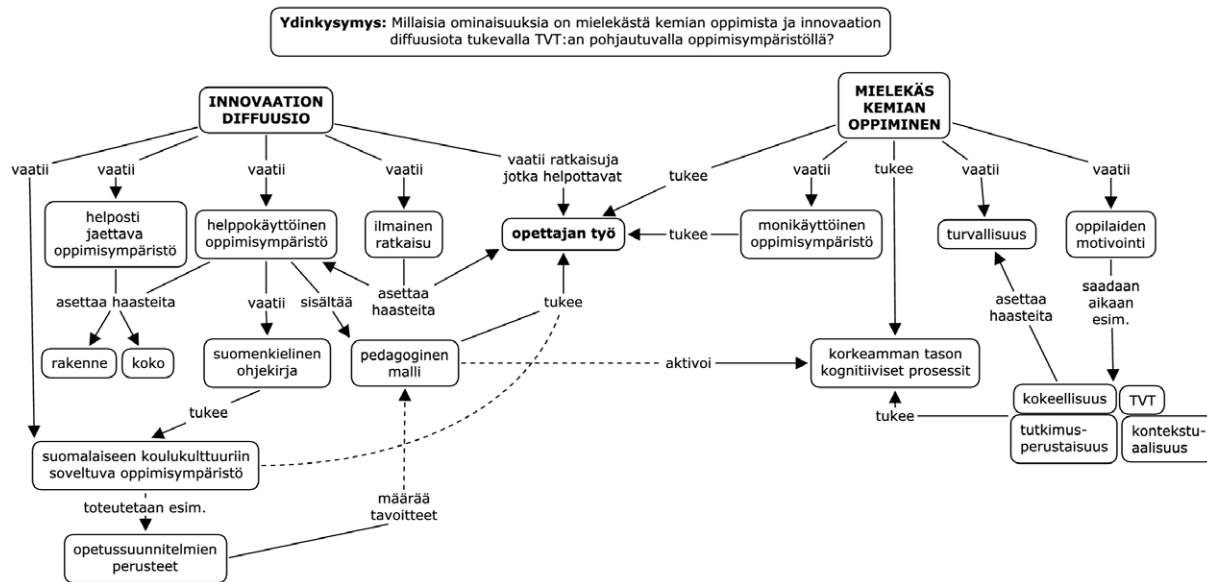
Avoimiin TVT-ratkaisuihin perustuvien oppimisympäristöjen käyttöönottoa ja opetuskäyttöä voidaan tukea selkeillä ohjekirjoilla ja laadukkailla pedagogisilla malleilla. Myös opetushallitus (2011) painottaa pedagogisten mallien tärkeyttä innovaation diffuusion tukemisessa. Tässä tutkimuksessa diffuusiota tukevat pedagogiset mallit ovat olleet keskeisiä koko tutkimuksen ajan (esim. Pernaa & Aksela, 2008a-b; Pernaa & Aksela, 2009; Pernaa & Aksela, 2011), mikä on yksi kehittämistutkimuksen vahvuuksista (esim. Design-Based Research Collective, 2003; Juuti & Lavonen, 2006). Kehitettyjen oppimisympäristöjen pedagogiset mallit on pyritty rakentamaan suomalaiseen kemian opetukseen soveltuviksi nostamalla mallien sisällöt ja tavoitteet opetussuunnitelmien perusteista (Opetushallitus, 2003, 2004). Käyttöönoton tukemiseksi ja tavoitteellisen kehittämisen ohjaamiseksi mallien opetustavoitteet ovat taksonomiataulun avulla (vrt. Anderson & Krathwohl et al. 2001; Juuti & Lavonen, 2006) selkeästi määriteltyjä. Lisäksi kehittämistuotoksien luotettavuutta ja pätevyyttä on parannettu sisällyttämällä kehittämisprosessiin testaamista autenttisissa opetustilanteissa, mikä on yksi kehittämistutkimuksen perusvaatimuksista (vrt. Design-Based Research Collective, 2003). Oppimisympäristöjen testaaminen myös motivoi opettajia. Oppimisympäristö on helpompi ottaa käyttöön, jos sen vaikuttavuudesta on tietoa.

Kuten aikaisemmin mainittiin, oppilaiden opiskelumotivaatiota voidaan vahvistaa mielekästä kemian oppimista tukevilla pedagogisilla ratkaisuilla, kuten kokeellisuus, tutkimusperustaisuus, TVT:n mielekäs käyttö ja kontekstuaalisuus. Tämän tutkimuksen mukaan olennaisinta on oppilaita kiinnostavan kontekstin kehittäminen (vrt. Gilbert, 2006). Tutkimuksen aikana oppilaita kiinnostavia työskentelykonteksteja nostettiin esim. luonnosta, arkipäivän kemiasta tai rikoskemiasta. Kontekstien valintaan vaikuttivat opetussuunnitelmien perusteet (Opetushallitus, 2003, 2004) tai testaustilanteissa vierailevien opettajien toiveet.

Mielekäs kemian oppimisympäristö on myös monikäyttöinen (vrt. Multisilta, 1997). Tässä tutkimuksessa hyödynnettiin tietokoneavusteisia käsitekarttoja oppimisympäristön käytön monipuolistamiseen. Käsitekartat toimivat kehitetyssä verkko-oppimisympäristössä sekä ennakkojäsentäjänä että kertaustyökaluna (ks. Pernaa & Aksela, 2008a-b).

Mielekästä kemian oppimista tukevan oppimisympäristön täytyy olla turvallinen.

Kokeellisuus on olennainen osa kemiaa, mikä näkyy myös tässä tutkimuksessa. Kokeellisten töiden yhteydessä turvallisen oppimisympäristön merkitys korostuu. TVT mahdollistaa tarpeen tullen myös koululaboratorion sopimattoman kokeellisuuden, kuten esimerkiksi kalliiden tai vaarallisten kemikaalien, sisällyttämisen kemian opetukseen. TVT-pohjaisella simulaatioilla voidaan mallintaa myös esimerkiksi laitteistojen toimintaa.



Kuva 6.1. Mielekästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevan oppimisympäristön ominaisuuksia

6.2 Tieto- ja viestintätekniikkaan pohjautuvien oppimisympäristöjen mahdollisuudet mielekkään kemianoppimisen tukemisessa

Tämän luvun tavoitteena on syntetisoida kolmen tapaustutkimuksen pohjalta TVT-koulutusten kemian opetusta käsittelevien tavoitteiden mahdollisuuksia ja haasteita. Kehitettyjä oppimisympäristöjä ja niiden arviointeja analysoimalla havaittiin, että TVT:aa voidaan hyödyntää kaikkien oppimisympäristöjä määrittelevien osatekijöiden (didaktiset, fyysiset, tekniset ja sosiaaliset) tukena (vrt. Pesonen & Manninen, 1997).

TVT tarjoaa mahdollisuuden eriyttää opetusta (vrt. Meisalo et al. 2000). TVT mahdollistaa esimerkiksi tehokkaiden esijärjestimien rakentamisen. Ne lisäävät materiaalin käyttömahdollisuuksia (vrt. Novak, 1998; Multisilta, 1997; Pernaa & Aksela, 2008a-b). TVT helpottaa opettajan työtä ja parantaa oppimisympäristön käytettävyyttä. TVT:n avulla voidaan esimerkiksi nopeuttaa ja tehostaa verkossa navigointia (vrt. Carnot et al. 2001) sekä tiedonhakua ja materiaalin jakamista (vrt. Kalliala, 2002).

TVT:aa voidaan hyödyntää ajan säästämässä ja turvallisen työskentelyn mahdollistamisessa kokeellisten töiden yhteydessä (vrt. Laroche et al. 2003). Esimerkiksi

tässä tutkimuksessa videoita ja valmiita linkkipankkeja pidettiin kokeellisuuden yhteydessä hyödyllisinä, sillä hyvien linkkien etsiminen vie paljon aikaa (Pernaa & Aksela, 2009). Linkkipankit asettavat haasteita materiaalin ylläpidolle. Usein linkit vanhentuvat ja poistuvat käytöstä hyvin nopeasti. Verkkomateriaalien osoitteet muuttuvat, ja projektit, jotka ylläpitävät sivustoja, ovat usein muutaman vuoden pituisia, ja sitten ylläpitoa ei jatketa.

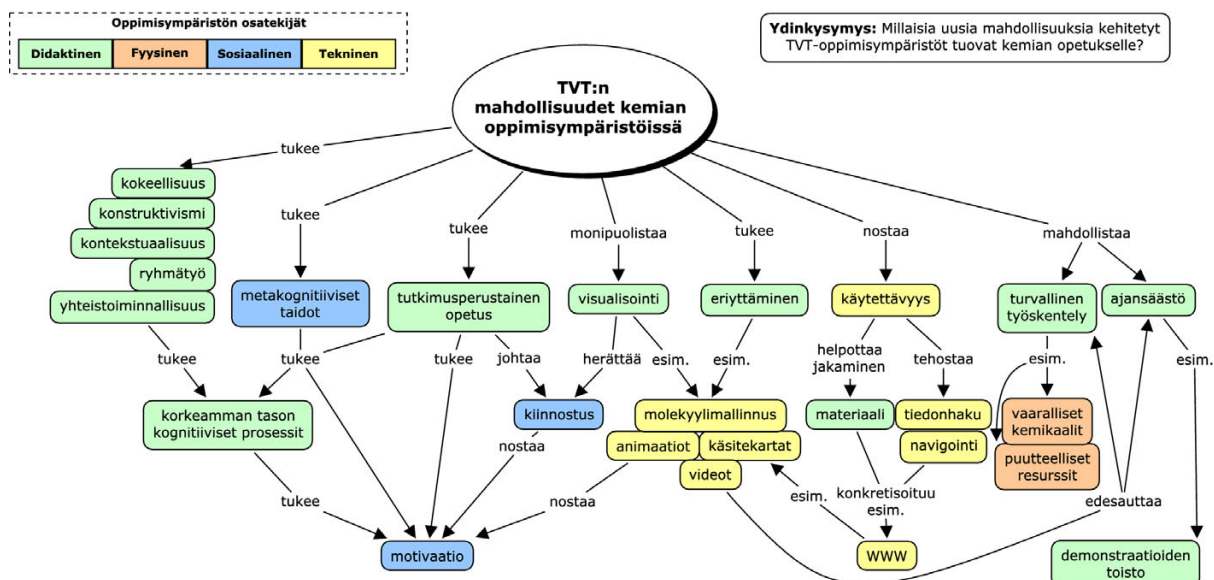
TVT:n koettiin uudentyyppisten visualisointimahdollisuuksien ansiosta antavan uusia mahdollisuuksia oppilaiden kiinnostuksen tukemiseen. Tässä tutkimuksessa makrotason ja symbolisen tason kokeellisuuteen yhdistettiin submikrotason visualisoinnit, ja tätä pidettiin mielekkäänä kemian opetustyökaluna (vrt. Webb, 2005). Tutkimuksessa selvisi myös, että niiden kehittämisen tarve olisi tällä hetkellä erittäin suuri. Opettajat kokevat, ettei hyviä kokeellisuutta ja submikrotasoa yhdistäviä kemian opetusvisualisointeja ole riittävästi saatavilla (vrt. Aksela & Lundell, 2008; Kozma, 2003; Pernaa et al. 2009).

TVT antaa uusia mahdollisuuksia myös kontekstuaalisuuden (vrt. Gilbert, 2006), konstruktivismiin, mielekkään oppimisen teorian (vrt. Novak, 1998) ja korkeamman tason kognitiivisten prosessien tukemiseen (vrt. Aksela, 2005; Anderson & Krathwohl, 2001). Tässä tutkimuksessa TVT:aa hyödynnettiin esimerkiksi opiskelijoiden metakognitiivisten tietojen ja taitojen kehittämisessä (esim. tapaus II: verkkopohjainen vertaisarviointi), tutkimuksellisen lähestymistavan aikaansaamisessa (esim. tapaus III vaihe 1: molekyylihallinnusoppimisympäristö) sekä ryhmätyön ja yhteistoiminnallisuuden tukemisessa (esim. tapaus III vaihe 1: käsitekarttaoppimisympäristö).

Monet yllä luetelluista tekijöistä vahvistavat opiskelijan motivaatiota, ja se nousee TVT:n hyödyntämisen tärkeimmäksi mahdollisuudeksi kemian opetuksessa (ks. kuva 6.2) (vrt. Meisalo et al. 2000). Koko tutkimuksen ajan kehittämisprosesseihin osallistuneet 139 opettajaa ja opiskelijaa kokivat TVT:n käytön motivoivan oppilaita, kunhan sen mielekkäälle käyttämiselle vain määriteltäisiin opettajan aikaa säästäviä toimintatapoja.

Yksi keino tukea TVT:n hyödyntämistä osana opetusta on tutkimusperustaisten lähestymistapojen monipuolinen hyödyntäminen. Sen avulla saatiin tässä tutkimuksessa hyviä tuloksia TVT-innovaation diffuusion tukemisessa yksilötasolla. (vrt. Hall & Hord, 1987; Healy, 2005). Tutkimuksen toisessa tapauksessa 80 % opiskelijoista koki nousseensa tutkimusperustaisesti toteutetun kurssin aikana tiedonetsintätasolta vähintään kehittämistasolle. Tutkitun kurssin perusrunko koostui kahdesta vaiheesta: 1) Kurssin ensimmäinen osa toteutettiin tutkimustuutoroituina harjoituksina. Ne koostuivat artikkeliin pohjautuvista etätehtävistä, joiden pohjalta osallistuttiin luennoille ja tehtiin käytännön mallinnusharjoituksia. 2) Kurssin toinen vaihe toteutettiin tutkimusorientoituneena tai tutkimuspohjaisena ryhmäopetuksena avoimena projektityönä. Projektityössä opiskelijat tekivät pienimuotoisen kehittämistutkimuksen. Toteutustapaan vaikuttivat ryhmän taso ja valitun kehittämiskontekstin haasteellisuus.

Kuvassa 6.2 esitetään TVT:n mahdollisuudet mielekkään oppimisen tukemisessa oppimisympäristöjen osatekijöiden näkökulmasta mallinnettuna ja taulukossa 6.2 aikaisempaan tutkimustietoon ja suoritettuun tutkimukseen reflektoiden.



Kuva 6.2. Yhteenveto TVT:n hyödyntämisestä mielekkään kemianopetuksen tukena oppimisympäristön osatekijöiden näkökulmasta

Taulukko 6.2. TVT:n mahdollisuudet kemian mielekkään oppimisen tukemisessa tutkimuskirjallisuuteen peilattuna

Mahdollisuus	Perustelu	Osatekijä
Eriyttäminen ja käytettävyyden parantaminen	Tapauksessa I kehitettiin verkko-oppimisympäristö, jossa tiedonhakua ja navigointia tehostettiin rakentamalla navigointijärjestelmä käsitekartoista. Tutkimus osoitti käsitekarttojen soveltuvan hyvin tiedon jäsentämiseen verkkoympäristössä (vrt. Carnot et al. 2001). Käsitekartat paransivat kehitetyn materiaalin käytettävyyttä, mikä on yksi mielekkään verkkomateriaalin piirre (vrt. Multisilta, 1997). Materiaali toimii samanaikaisesti laajana materiaalipankkina, mutta käsitekarttojen myötä myös nopeana kertaustyökaluna. Käsitekartat toimivat navigointiprosessissa esijärjestimenä, mikä on yksi mielekkään oppimisen perustekijöistä (vrt. Novak, 1998, 88-89).	Didaktinen Tekninen
Mielekkään oppimisen teorian huomioon ottaminen	Tapauksen III vaiheessa 1 käsitekarttaryhmä tuki TVT:n avulla käsitekartojen muodostumista, edistävää eriytymistä ja eheytyvää yhdistämistä kehittämällä oppimisympäristön, jossa oppilaat rakentavat itse kartoja (vrt. Novak, 1998, 78-85)	Didaktinen
Kiinnostuksen ja motivaation tukeminen	Kiinnostuksen ja motivaation tukeminen nousevat esille esim. kolmannen tapauksen ensimmäisessä vaiheessa. Tutkittaessa myös kuvaa 6.2 huomataan motivaation olevan käsitekartan keskeisin käsite. Motivaation tukemiseen tähdätään didaktisilla, sosiaalisilla ja teknisillä keinoilla.	Sosiaalinen
Metakognitiivisten tietojen ja taitojen kehittäminen	Esimerkiksi tapauksen III vaiheessa 1 kehitetyssä happo-emäs -oppimisympäristössä hyödynnetään TVT-avusteisia käsitekarttoja oman oppimisen seuraamisessa, mikä kehittää opiskelijan metakognitiivisia taitoja. (vrt. Anderson & Krathwohl, 2001)	Sosiaalinen Tekninen
Kokeellisuuden tukeminen yleisesti	Tapauksen I mukaan opettajat kokivat TVT:lla tuettujen kokeellisten töiden tuovan lisäarvoa verkko-oppimisympäristölle. (Pernaa & Aksela 2008a-b) Opettajat ja opiskelijat totesivat TVT:n olevan olennainen osa kokeellista työskentelyä myös tapauksen III vaiheessa 1, jossa sen koettiin motivoivan opiskelijoita ja antavan uusia visualisointimahdollisuuksia kokeellisuuden yhteydessä. (vrt. esim. Kozma, 2003; Aksela & Lundell, 2008)	Didaktinen Sosiaalinen

Konstruktivismin huomioon ottaminen	<p>Tapauksessa I kehitetyssä oppimisympäristössä konstruktivismia pyrittiin korostamaan käsitekarttoihin pohjautuvalla navigointijärjestelmällä, joka tehostaa tiedon jäsentämistä verkkoympäristössä (vrt. Carnot et al. 2001).</p> <p>Tapauksen III vaiheessa 1 kehitetyssä videoita ja kokeellisuutta yhdistävässä oppimisympäristössä tuettiin demonstraatioiden yhteydessä konstruktivistista lähestymistapaa kysymysten avulla (Pernaa & Aksela, 2009).</p>	Didaktinen
Kontekstuaalisuuden tukeminen	Tapauksissa I ja III kehitettiin kontekstuaalisia oppimisympäristöjä, jotka opettajien ja opiskelijoiden mukaan tukevat mielekästä kemian oppimista (vrt. Gilbert, 2006)	Didaktinen
Korkeamman tason kognitiivisten prosessien ja tutkimusperustaisuuden tukeminen	Korkeamman tason kognitiivisia prosesseja ja tutkimusperustaista opetusta tuetaan esim. tapauksen III vaiheessa 1 kehitetyssä kokeellisuus & molekyylihallinnus -oppimisympäristössä. Oppimisympäristössä tehdään oletus ja suoritetaan kokeellinen työ, minkä jälkeen havainnoidun makrotason ilmiön tuloksia analysoidaan ja arvioidaan submikrotasolla molekyylihallinnuksen keinoin (vrt. Anderson & Krathwohl, 2001; Pernaa & Aksela, 2009).	Didaktinen Tekninen
Materiaalin jakaminen	<p>Tapauksissa I ja III kehitettyjen oppimisympäristöjen TVT-elementit ovat pääosin toteutettavissa ilmaisohjelmistoilla ja materiaalit ovat verkon kautta vapaasti kaikkien saatavissa (Pernaa & Aksela, 2008a-b; Pernaa & Aksela, 2009).</p> <p>Avoimeen teknologiaan pohjautuva kehittäminen ja verkon käyttäminen materiaalin levittämiseksi on yksi keino tukea Valtioneuvoston kanslian (2007) esittämää tavoitetta maanlaajuisesta tieto- ja viestintäteknisestä tasa-arvosta.</p>	Didaktinen Tekninen
Työturvallisuuden parantuminen ja ajan säästymisen kokeellisuuden yhteydessä	Tapauksen III mukaan TVT:aa hyödyntämällä voidaan toteuttaa kokeellisuutta puutteellisilla resursseilla (esim. ilman vetokaappia) tai demonstroida turvallisesti reaktioita, joiden suorittamiseen tarvitaan vaarallisia aineita. TVT:n todettiin myös säästävän aikaa mm. demonstraatioiden toistamisessa (Laroche et al. 2003).	Didaktinen Fyysinen
Visualisointi	<p>Tapauksessa I kehitetyssä oppimisympäristössä oppimista tuetaan submikrotasoa havainnollistavilla visualisoinneilla. (Pernaa & Aksela 2008a-b).</p> <p>Tapauksessa III TVT:n todettiin tukevan kemian kokeellisuutta esim. visualisoimalla näkymätöntä submikrotasoa (vrt. Kozma & Russell, 2005; Russell et al. 1997; Russell & Kozma, 2005).</p>	Didaktinen
Ryhmätyöskentelyn ja yhteistoiminnallisuuden tukeminen	Tapauksen III vaiheessa 1 kehitetyssä käsitekarttoja hyödyntävässä oppimisympäristössä ryhmätyötä ja yhteistoiminnallisuutta tuettiin tekemällä käsitekarttoja ennen ja jälkeen kokeellista työtä. Käsitekarttoja esiteltiin ja työstettiin sekä kotiryhmissä että koko luokan kesken (Pernaa & Aksela, 2009).	Didaktinen

6.3 Yhteisöllisyyden kehittämistutkimuksen toteuttamiselle asettamat mahdollisuudet ja haasteet

Tämän luvun tavoitteena on löytää kemian opetukseen soveltuvia TVT-koulutuksen toteuttamismalleja tarkastelemalla yhteisöllisyyden merkitystä kehittämistutkimuksessa. Suoritetut kehittämistutkimukset jaettiin kolmeen erilaiseen tapaukseen kehittäjätahojen taustan ja toteutustavan yhteisöllisyyden mukaisesti. Tutkimus sisälsi kolmenlaisia kehittäjäryhmiä:

1. Päävastuu kehittämisestä on yhdellä tutkijalla, ja kemian opettajat osallistuvat kehittämisprosessissa kehittämistuotoksen arviointiin (ks. luku 5.1).
2. Kehittäminen suoritetaan yhteisöllisesti tutkijoiden toimesta, ja aineenopettaja-opiskelijat osallistuvat kehittämisprosessiin kehittämisen arvioijina (ks. luku 5.2).
3. Kehittäjinä toimivat opiskelijat, kehittäminen on yhteisöllistä ja tutkija koordinoi kehittämisen päävaiheet (ks. luku 5.3).

Kaikki tutkimuksen kehittämistutkimukset toteutettiin Design-Based Research Collectiven (2003) määrittelemien kehittämistutkimuksen hyvien toimintatapojen mukaisesti. Tutkimuksen tavoitteena oli tuottaa tarpeeseen perustuvia kokonaisvaltaisia ratkaisuja ja malleja, jotka voidaan siirtää kemian opetuksen käytäntöihin uudentyyppisiä TVT-oppimisympäristöjä kehitettäessä (vrt. Bell et al. 2004). Tutkimuksessa otettiin huomioon kehittämistutkimuksen iteratiivinen luonne sisällyttämällä aikaisempi tutkimustieto osaksi kehittämistä (Edelson, 2002). Suurimpina haasteina tutkimuksissa olivat kehittämisen luotettavuus ja avoimuus, joita pyrittiin kontrolloimaan ohjaamalla kehittämistä tarkasti luvuissa 2 ja 3 kuvatuilla teorioilla, dokumentoinnilla ja kehittämisprosesseihin sisällytetyillä formatiivisilla ja summatiivisilla testaamisvaiheilla (vrt. Dede, 2004; Collins, 1999).

Vertailemalla kolmen kehittämistapauksen mahdollisuuksia ja haasteita löydettiin useita seikkoja, jotka korostavat yhteisöllisyyden merkitystä kehittämistutkimuksen toteuttamisessa (ks. kuva 6.3 ja taulukko 6.3). Yhden tutkijan suorittaman ongelma-analyysin mahdollisuutena on analyysin keskittyminen yhteen tarpeeseen, jolloin siitä saadaan perusteellinen kuva. Haasteena kuitenkin on kehittämistarpeiden kokonaisvaltainen selvittäminen, mikä vaatii useiden tutkimusmenetelmien hallintaa ja paljon aikaa. Yhteisöllisyys jakaa yhden tutkijan kuormitusta ja parantaa mahdollisten tutkimusmenetelmien hallintaa, mikä johtaa luotettavampaan ongelma-analyysiin. Tässä tutkimuksessa todettiin, että malliteorian (Gilbert et al. 2000; Justi & Gilbert, 2002) tarjoamalla ajattelumallilla pystytään vahvistamaan yhteisöllisen kehittämistutkimuksen ongelma-analyysivaihetta. Malliteorian avulla ongelma-analyysiin saadaan sisällytettyä kehittämiskohteen koko historiallinen viitekehys ja yksilöiden näkemykset osana yhteistä kehittämistavoitetta, jolloin kehittämistarpeista saadaan kokonaisvaltaisempi kuva ja kehittämisestä tulee tavoiteorientoitunutta ja työ johtaa laadukkaaseen tuotokseen. Yksin

kehittämisestä johtuva testaamismahdollisuuksien vähäisyys aiheuttaa haasteita myös tuotoksen laadulle, kuten tämän tutkimuksen ensimmäisessä tapauksessa, jossa opettajat eivät pystyneet tukemaan kehittämisessä ja tutkijan visio oli käytössä olevaan teknologiaan verrattuna liian futuristinen. (vrt. Juuti & Lavonen, 2006)

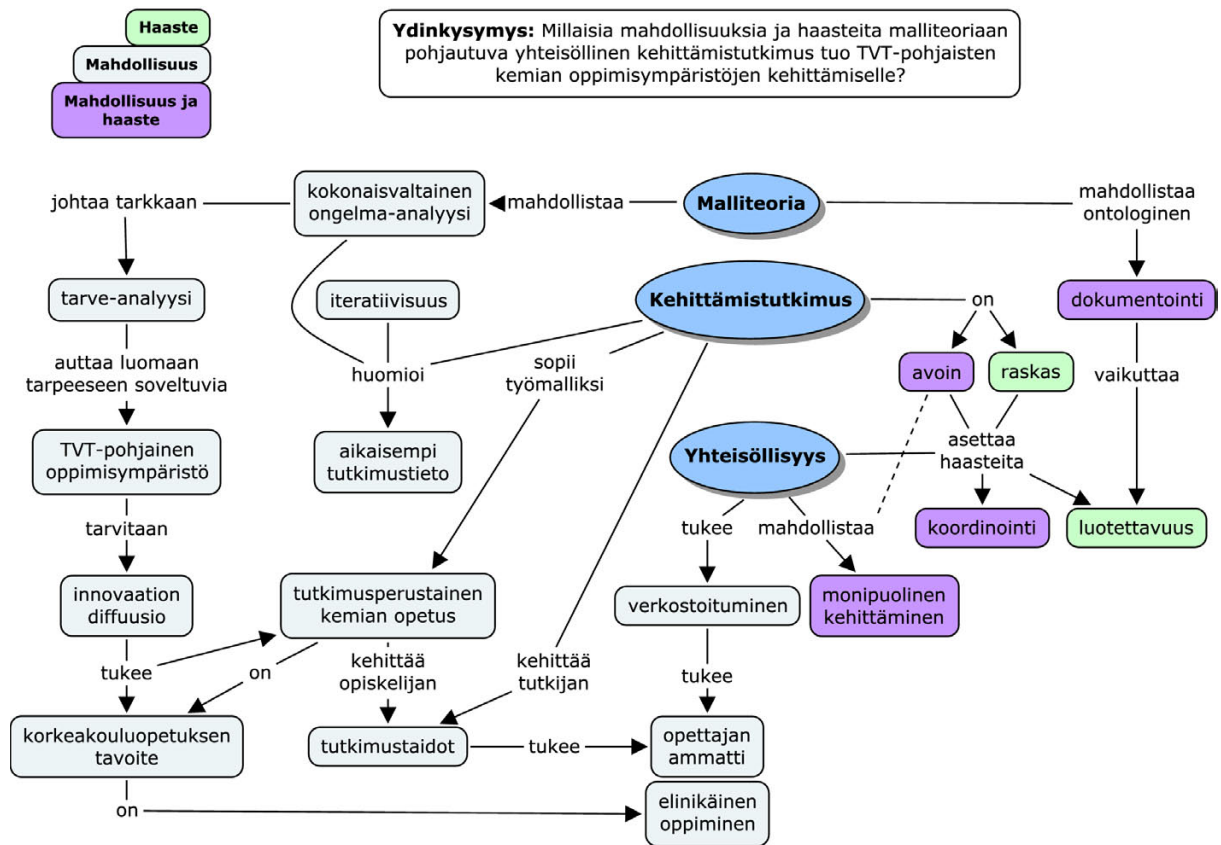
Kehittämistutkimuksen avoimuus on sen suurin haaste, mutta samalla myös suuri mahdollisuus (vrt. Kelly, 2004). Yhteisöllinen kehittäminen lisää kehittämisen avoimuutta, mikä aiheuttaa haasteita tutkimuksen koordinoinnille ja dokumentoinnille, jotka vaikuttavat merkittävästi tutkimuksen luotettavuuteen (vrt. Dede, 2004; Tuomi & Sarajärvi, 2009) ja tutkijoiden työskentelyyn (vrt. Chao et al. 2010). Malliteoria mahdollistaa yhteisöllisen kehittämisen ontologisen tarkastelun. Rakentamalla ensin sisäiset yksityiset mallit, jotka julkistetaan ja testataan kehittämissyhteisössä ja lopulta sulautetaan yhdeksi yhteisymmärrykseksi, on mahdollista dokumentoida ja visualisoida syklittäiset kehittämis päätökset tarkasti (vrt. Design-Based Research Collective, 2003; Gilbert et al. 2000). Tutkimuksen toisen tapauksen perusteella tämä toimintamalli edistää kehittämisen onnistumista ja tutkimuksen koordinoitua ja siten parantaa tutkimuksen luotettavuutta, uskottavuutta ja vahvistettavuutta (vrt. Dede, 2004; Tuomi & Sarajärvi, 2009). Tässä tutkimuksessa kehittämisen dokumentoinnin ja koordinoinnin tukena hyödynnettiin käsitekarttoja ja visuaalisia tietomalleja. Käsitekarttojen hyödyntämisen edellytyksenä on, että kehittämissyhteisö pystyy rakentamaan ja tulkitsemaan käsitekarttoja (vrt. Novak, 1998).

Kehittämistutkimuksen tavoitteena on tarkastella kehitettävää ilmiötä kokonaisvaltaisesti (vrt. Edelson, 2002). Yhteisöllinen kehittäminen mahdollistaa monipuolisen ja kokonaisvaltaisen kehittämisen. Yhteisöllisyyden myötä kehittämiseen pystytään sisällyttämään useita kehittäjiä, joista jokainen tuo kehittämisprosessiin omat vahvuutensa ja heikkoutensa (vrt. Chao et al. 2010). Tutkimuksen toisen ja kolmannen tapauksen mukaan yhteisöllisyys tukee kehittämisen onnistumista, mutta asettaa samalla haasteita kehittämissyhteisön toiminnalle. Parhaassa tapauksessa kehittämissyhteisö on motivoitunut. Se tekee laadukkaan ja realistisen tarveanalyysin ja kehittää sen pohjalta kehittämistuotoksen. Tämä tuotos palvelee onnistuneesti useita tahoja, kuten esim. tapauksessa II opiskelijoiden tarpeita (ks. luku 5.2.2), innovaation diffuusioteoriaa (vrt. Rogers, 1995), aikaisemman tutkimustiedon näkemyksiä kehitettävästä ilmiöstä (vrt. esim. Aksela & Lundell, 2008), tutkimusperustaista kemian opetusta (vrt. esim. Aksela, 2010), Matemaattis-luonnontieteellisen tiedekunnan määrittelemiä laadukkaan korkeakouluopetuksen tavoitteita (vrt. Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta, 2010), yritysmaailmaa (ks. Liite 2; vrt. Opetusministeriö, 2009) ja tutkijoiden kokonaisvaltaista ammatillista kehittymistä (ks. luku 5.3.2). Kehittämistutkimuksen onnistumista voidaan arvioida sen siirrettävyyden ja tavoitteiden toteutumisen mukaan. Onnistunut kehittämistutkimus tuottaa paikallisia, mutta myös laajemmissa yhteyksissä toimivia toimintamalleja (vrt. Barab & Squire, 2004).

Yhteisöllinen kehittämistutkimus tukee innovaation diffuusiota (vrt. Rogers, 1995) ja tutkimusperustaisen kemianopetuksen tavoitteita (vrt. Aksela, 2010; Jakku-Sihvonen &

Niemi, 2006). Yhteisöllisyys sitouttaa opettajia ja opiskelijoita osaksi kehittämisprosessia ja yhteisöä, mikä parantaa tuotoksen soveltuvuutta käyttäjien tarpeisiin. Tämä tukee innovaation siirtymistä kemian opetukseen. Tässä tutkimuksessa opiskelijat kokivat yhteisöllisen kehittämisen raskaaksi, mutta mielekkääksi ja motivoivaksi työtavaksi, josta sai onnistumisen elämyksiä. He totesivat ottavansa kehittämänsä toimintatavat käyttöön omassa opetuksessa. (vrt. Bennet & Holman, 2002; Fishman et al. 2004; Juuti et al. 2009; Rogers, 1995). Yhteisöllisen työskentelyn raskautta voidaan vähentää ohjaamalla opiskelijoiden ryhmiin jakautumista tarkemmin. Tämän tutkimuksen mukaan tuottavin ryhmäjako syntyi kiinnostuksen mukaan. Osalle ryhmistä soveltui ystävien kanssa työskentely hyvin, mutta jos ystävistä koostuva ryhmä ei ollut kiinnostunut kehitettävästä TVT-kontekstista tai ryhmässä ei ollut vahvaa TVT-innovaation tai tutkimuksen teon hallintaa, tutkimusprosessista tuli raskas. Tällöin opiskelijat kokivat kehittämistutkimuksen kuormittavuuden kurssin kuormittavuuslaskentaan verrattuna suureksi.

Kehittämistutkimus soveltuu tutkimuspohjaisen tai tutkimusorientoituneen opetuksen toteuttamismalliksi, kuten tämän tutkimuksen tapauksesta III käy ilmi (ks. luku 5.3; vrt. Griffiths, 2004; Healy, 2005). Kehittämistutkimuksen ongelma-analyysivaiheiden aikana opiskelijat kokivat oppivansa tutkimustaitoja. Kehittämisprosessin aikana he muodostivat yhteistyöverkostoja, mikä edistää esimerkiksi elinikäistä oppimista (vrt. Valtioneuvoston kanslia, 2007). Myös Edelson (2002) toteaa kehittäjien kokonaisvaltaisen ammatillisen kasvun olevan yksi kehittämistutkimuksen vahvuuksista. Kehittämisen hyödyt ilmenivät opiskelijoille vasta kehittämistyön jälkeen kehittämiskuvausten kirjoittamisen aikana, mikä osaltaan vaikutti kokemukseen raskaasta kehittämisprosessista.



Kuva 6.3. Malliteorian, kehittämistutkimuksen ja yhteisöllisyyden mahdollisuuksiin ja haasteisiin liittyvät käsitteet ja niiden väliset relaatiot

Taulukko 6.3. Yhteenveto kehittämistutkimustapausten rinnakkaisesta tarkastelusta

Arvioitava osatekijä	Tapaus 1: Yksi tutkija kehittää ja opettajat toimivat arvioijina	Tapaus 2: Tutkijaryhmä kehittää ja opiskelijat toimivat arvioijina	Tapaus 3: Opiskelijaryhmä kehittäjänä ja tutkija koordinoi kehittämisprosessin
Ongelma-analyysi	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Yhden osakokonaisuuden syvälinen analyysi, vertaa esim. laaja kemian tarveanalyysi - Loppukäyttäjinä toimivat opettajat pääsevät vaikuttamaan kehittämiseen, mikä tukee innovaation diffuusiota Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Ongelma-analyysin monitahoinen suorittaminen haasteellista, esim. tutkimusmenetelmien hallinta, laadukas testaaminen ja aikaresurssit asettavat haasteita. - Arvioivilla opettajilla ei ollut riittävästi TVT-osaamista kehittämisen tukemiseksi 	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Kokonaisvaltainen ongelma-analyysi - Monitahoinen testaaminen ja laaja tutkimusmenetelmien hallinta Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Opiskelijat eivät näe kurssin kehittämistä kokonaisuutena, minkä vuoksi arviointi kohdistuu osittain epäolennaisiin seikkoihin 	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Opiskelijat oppivat ongelma-analyysien aikana tutkimustaitoja ja TVT-taitoja Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Tutkimusmenetelmien hallinta - Vertaisryhmän ja sidosryhmien (esim. vieraileva opettaja) passiivisuus uusia innovaatioita kohtaan asettaa haasteita kehittämiselle
Kehittämistuotos	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Tuotos muodostuu yhden tutkijan ydinosaamisesta ja kehittämisvisiosta. - Loppukäyttäjän tarpeet on otettu huomioon Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Kehittäminen on usein poikkitieteellistä ja monitahoista. Yksin kehittämisessä esim. TVT:aan perehtynyt tutkija tarvitsee tukea kemian sisältöjen laadinnassa, jos tavoitteena on voimakas siirrettävyys. - Kehittäjän visio ei aina kohtaa kentän tarvetta 	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Usean kehittäjän ydinosaamisen muodostama kokonaisuus johtaa laadukkaaseen tuotokseen - Loppukäyttäjän tarpeet on otettu huomioon Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Monitahoinen kehittäminen voi johtaa käytettävyydeltään monimutkaiseen kehittämistuotokseen 	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Opiskelijat saavat vahvistettua ydinosaamis- ja kehittämisalueitaan autenttisessa kehittämisprosessissa - Tuotos siirtyy tulevien opettajien opetukseen ja tukee siten innovaation diffuusiota Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Kehittämisestä tulee kuormittavampaa
Kehittämisprosessi	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Kehittämisprosessin suunnittelu ja dokumentointi kevyttä. Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Kehittämisprosessin laaja-alainen suunnittelu haasteellista ja tukiverkostot suppeammat kuin yhteisöllä. - Yhden tutkijan työmäärä suuri 	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Mahdollista suunnitella monimutkaisia ja toteuttaa laajoja kehittämisprojekteja - Yhteisön laajat kehittämisverkostot tukena - Työmäärä jaetaan useamman kesken Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Yhteisöllisyys lisää dokumentointi- ja koordinoitiresursseja - Ryhmätyöskentely haasteellisempaa - Kehittämisestä yritetään tehdä liian monimutkaista 	Mahdollisuus: <ul style="list-style-type: none"> - Opiskelijat verkostoituvat ja muodostavat tulevaisuutta tukevia yhteistyöverkostoja - Kehittäminen motivoi opiskelijoita Haaste: <ul style="list-style-type: none"> - Kehittäminen koetaan usein raskaaksi - Ryhmätyöskentely on toisinaan haasteellista

6.4 Tutkimuksen merkitys ja jatkotutkimuskohteet

Tutkimuksen päätavoitteena oli kehittää kemian opetuksessa käytettävän TVT:n koulutusta kehittämistutkimusta hyödyntäen. Asetettu tavoite toteutui kolmella tavalla. Tutkimuksesta saatiin uutta tietoa mielekästä kemian oppimista ja innovaation diffuusiota tukevan TVT-oppimisympäristön ominaisuuksista, mikä ohjaa koulutuksen kehittämiskohteiden suunnittelua. Tutkimuksessa selvitettiin, millaisia mahdollisuuksia TVT-pohjaiset oppimisympäristöt tuovat mielekkään kemianoppimisen tukemiselle. Se ohjaa koulutusten kemianopetusta koskevien tavoitteiden määrittelyä. Lisäksi tutkimus toi esille uutta tietoa yhteisöllisyyden merkityksestä kehittämistutkimuksessa, mikä tukee TVT-koulutusten toteuttamisen suunnittelua. Seuraavissa alaluvuissa pohditaan tutkimuksen merkittävyyttä ja jatkotutkimuskohteita kansainvälisen opetuksentutkimuksen (ks. luku 6.4.1) ja kansallisen kemianopetuksen tutkimuksen (ks. luku 6.4.2) näkökulmista.

6.4.1 Kansainvälisen opetuksentutkimuksen näkökulma

Kansainvälisen opetuksentutkimuksen näkökulmasta tutkimuksen merkittävin osa-alue on kehitetyn mallipohjaisen yhteisöllisen kehittämistutkimusmenetelmän vaikutus kehittämisen luotettavuuteen, mikä on ollut 20 viime vuoden ajan alan tutkimuskirjallisuuden suurin keskustelun aihe (esim. Sandoval & Bell, 2004). Tämän tutkimuksen mukaan korkeatasoisen kehittämisen tärkein vaatimus on kokonaisvaltainen ongelma-analyysi. Yhteisöllisyys on keino monitahoisen ongelma-analyysin suorittamiseen, sillä yhteisö pystyy muodostamaan kokonaisvaltaisemman näkemyksen kehittämisen tarpeista kuin yksi tutkija. Yhteisö kykenee ottamaan erilaisten sidosryhmien tarpeet tarkemmin huomioon sekä mahdollistaa yksityiskohtaisemman testaamisen, mikä johtaa uskottavampaan ja siirrettävämpään kehittämistuotokseen. (vrt. Design-Based Research Collective, 2003; Tuomi & Sarajarvi, 2009, 136-139)

Yhteisöllisyyden lisääminen aiheuttaa haasteita kehittämisen koordinoinnille ja dokumentoinnille (vrt. Chao et al. 2010). Kun ongelma-analyysien koordinoinnissa ja prosessien dokumentoinnissa sovelletaan Gilbertin et al. (2000) malliteoriaa, pystytään kehittämiseen sisällyttämään jokaisen kehittäjän yksilöllinen näkemys ja muokkaamaan niistä yhtenäinen kokonaisuus. Tässä tutkimuksessa mallinnusprosessin dokumentointityökaluina käytettiin visuaalisia tietomalleja ja käsitekarttoja (vrt. Novak, 1998). Ne ovat vain yksi dokumentointitapa, mutta tässä tutkimuksessa ne osoittautuivat erittäin toimiviksi. Visuaalisten mallien avulla pystyttiin konkretisoimaan jokaisen kehittäjän panos osana kokonaisuutta, mikä selvensi vastuualueita ja motivoi kehittäjiä. Se myös ylläpiti suurta yhteisymmärrystä ja hyvää tiedonkulkua, jotka ovat kehittämisen onnistumisen kannalta tärkeitä (vrt. Chao et al. 2010).

Malliteorian avulla pystytään hallitsemaan kehittämistutkimuksen avoimuutta ja kompleksisuutta aikaisempaa paremmin, mikä esimerkiksi Kellyn (2004) mukaan on

kehittämistutkimuksen suurin haaste. Yhdessä malliteoria ja yhteisöllisyys muuttavat avoimen ja kompleksisen kehittämisen haasteesta mahdollisuudeksi. Ensinnäkin kehittämisaalueet pystytään jakamaan tasaisesti yhteisössä kehittäjien osaamisalueiden mukaisesti, mikä vähentää tutkimuksen kuormittavuutta. Toiseksi se helpottaa triangulaation sisällyttämistä tutkimukseen luotettavuuden parantamiseksi (vrt. Design-Based Research Collective, 2003). Yhteisöllisyys tukee esimerkiksi aineistoihin tai metodeihin kohdistuvaa triangulaatiota (Tuomi & Sarajärvi, 2009, 143-149). Lisäksi malliteoria tukee kehittämistutkimukselle ominaista syklittäistä ja iteratiivista toteutustapaa, mikä parantaa tutkimuksen luotettavuutta ja vahvistettavuutta (vrt. Design-Based Research Collective, 2003; Tuomi & Sarajärvi, 2009, 136-139).

Edelson (2002) painottaa kehittämistutkimuksen vahvuuden olevan sen pragmaattisuudessa. Se tuottaa autenttisissa oloissa testattuja opetusta tukevia käytännön toimintamalleja. Kehittämistutkimus hyödyttää sekä kehittäjiä ja tuotoksen loppukäyttäjiä että myös tiedettä itseään. Kehittämisen avulla saadaan myös esimerkiksi tietoa oppimisesta ja hyvistä kehittämismalleista, joita voidaan hyödyntää muissa kehittämiskonteksteissa. Myös Barabin ja Squiren (2004) mukaan kehittämistutkimuksen arvoa voidaan mitata tulosten siirrettävyydellä. Tässä tutkimuksessa kehitetty malliteoriaan pohjautuva yhteisöllinen kehittämistutkimuksen toteuttamismenetelmä on siirretty sellaisenaan opetusalan tutkimuspalveluja tarjoavan yrityksen tuotteeksi, mikä palvelee myös opetusministeriön (2009) mainitsemaa kaupallisten rajapintojen kehittämistavoitetta. Tutkimuksessa menetelmän avulla kehitettiin korkeakouluopetuksen kurssi, TVT-pohjaisia kemian oppimisympäristöjä ja sen todettiin soveltuvan tutkimusperustaisen kemian opetuksen työtavaksi. Sen todettiin soveltuvan tutkimusperustaisen kemianopetuksen työtavaksi. Yrityspuolella menetelmää on hyödynnetty onnistuneesti muun muassa isotooppilääkkeen myyntiä edistävän animaation, isotooppilääkeyksiköiden ja asiakasyrityksen välistä suhdetoimintaa edistävän kemian mallin sekä opettajille tarkoitetun verkkopohjaisen opetusresurssi-verkostoituspalvelun kehittämiseen. Käytännössä menetelmää voidaan hyödyntää minkä tahansa sellaisen asian tieteellisesti luotettavan kehittämiseen, jossa täytyy ottaa huomioon erilaisten sidosryhmien, ihmisten, prosessien, teknologian ja substanssitiedon tarpeita ja niiden välisiä rajapintoja ja relaatioita.

Kehitettyä menetelmää täytyy tulevaisuudessa testata poikkitieteellisemmissä ja monimutkaisemmissa kehittämiskonteksteissa, jotta pystyttäisiin paremmin arvioimaan sen mahdollisuuksia ja rajoituksia. Sen avoimuutta, käytettäviä tutkimusmenetelmiä ja syklien määrää ei tule ennalta määritellä, vaan ne tulee suunnitella tarveanalyysin aikana. Näin saavutetaan mahdollisimman laaja-alainen siirrettävyys. Siitä täytyisi tulevaisuudessa myös kehittää kokonaisvaltainen pedagoginen malli, joka tukisi sen hyödyntämistä osana tutkimusperustaista opetusta ja diffuusiota erilaisiin kehittäjäyhteisöihin ja tutkimuskäytäntöihin. Tulevaisuudessa menetelmän diffuusiota tulee tukea myös laaja-alaisella raportoinnilla ja koulutustyöllä.

6.4.2 Kansallisen kemianopetuksen tutkimuksen näkökulma

Tutkimalla kehitettyjä oppimisympäristöjä suomalaisen kemianopetuksen kontekstissa todettiin mielekästä kemian oppimista tukevan kemian TVT-oppimisympäristön olevan opettajan työtä helpottava ja oppilaita motivoiva turvallinen oppimisympäristö. Tällainen ympäristö mahdollistaa samanaikaisesti usean erilaisen pedagogisen tavoitteen toteutumisen ja korkeamman tason kognitiivisten prosessien aktivoimisen. Tulevaisuudessa tulos tukee vastaavanlaisten tutkimusperustaisten TVT-koulutuksien kehittämiskohteiden suunnittelua.

Tutkimuksissa analysoitiin kehittämisen haasteita ja mahdollisuuksia kansallisesta ja kansainvälisestä tutkimuskirjallisuudesta, joista syntetisoitiin suomalaiseen kemian opetukseen soveltuvia toimintamalleja. Tästä tutkimuksesta saadut tiedot täydentävät jo tunnettujen haasteiden ja mahdollisuuksien kenttää ja johtavat tulevaisuudessa tarkempaan ongelma-analyysiin ja paremmin tarpeita vastaaviin tuotoksiin. Iteratiivisen kehittämisen aikaansaamiseksi tulee tämä tulos raportoida siten, että se saavuttaa kemian opettajat.

Tuloksessa näkyvät kemian opettajien tietotaidon TVT:n käytölle asettamat haasteet. Myös opetushallitus (2011) esittää opettajien pitävän TVT:aa enemmän opetuksen apuvälineenä kuin niinkään kokonaisvaltaisena oppimisympäristönä. Opetushallitus (2011) raportoi myös opettajien asenteiden haittaavan TVT:n käyttöönottoa. Kemian opettajien keskuudessa ongelma eivät ole asenteet, vaan tieto-, taito- ja kalusto-ongelmat (vrt. esim. Aksela & Karjalainen, 2008). Tosin kemian opettajien TVT-asenteita mittaavissa tutkimuksissa suuri osa vastaajista kuuluu innovaation diffuusioteorian näkökulmasta innovaattoreihin tai aikaiseen enemmistöön (ks. Pernaa et al. 2009; vrt. Rogers, 1995).

Arjen tietoyhteiskunnan (2010) mukaan yksi TVT:n päätehtävistä on tukea uusien toimintatapojen diffuusiota opetukseen. Lisäksi raportissa ehdotetaan opettajankoulutuksen kehittämiseksi nykyaikaisten ohjelmisto- ja laiteresurssien hankkimista sekä tulevaisuuden opettajien TVT-taitojen varmistamista (Arjen tietoyhteiskunta, 2010). Tämän tutkimuksen mukaan ajanmukainen TVT-innovaation diffuusiota tukeva oppimisympäristö on suomalaiseen koulukulttuuriin soveltuva, avoimeen lähdekoodiin pohjautuva, laadukas ja helppokäyttöinen oppimisympäristö. Käytännössä tämä tarkoittaa opetussuunnitelmien perusteisiin pohjautuvia sisältöjä ja tavoitteita (Opetushallitus, 2003, 2004), korkeatasoisia kemian sisältöjä ja oppilaita motivoivia visualisointeja sisältäviä oppimisympäristöjä. Tulevien opettajien riittävät TVT-aidot taas voidaan varmistaa tutkimusperustaisilla lähestymistavoilla, kuten tämän tutkimuksen toisessa tapauksessa, jossa noin 80 % opiskelijoista koki kurssin jälkeen pystyvänsä kehittämään TVT-oppimisympäristöjä. Tämä tulos ohjaa tulevaisuudessa TVT-koulutusten tavoitteiden määrittelyä.

Innovaation diffuusion eteneminen vaatii tehokkaita viestintäkanavia. Tällä hetkellä tieto uusista innovaatioista tiedotetaan kemian opettajille pääosin LUMA-keskuksien, opettajille tarkoitettujen verkkolehtien (esim. LUMA Sanomat), Kemian opetuksen keskus Kemman ja MAOL ry:n kautta. LUMA-toiminnan tiedottaminen on toteutettu nykyaikaisen sosiaalisen median, verkkoviestinnän ja perinteisen viestinnän keinoin niin, että se kattaa koko maan. Silti tutkimusten (esim. Aksela & Karjalainen, 2008) mukaan Suomessa on paljon

kemian opettajia, joiden mielestä tiedotusta ja tukea ei ole tarjolla riittävästi. Esimerkiksi TVT-täydennyskoulutusta toivotaan enemmän, mutta kun koulutusta järjestetään, osallistuu niihin vain muutama opettaja. Tähän vaikuttavat monet syyt. Esimerkiksi opettajan arki on kiireistä ja etäisyys kotikaupungista koulutuspaikkakunnalle voi olla pitkä.

Kemian opetuksen TVT-tilanteen kehittämiseksi tulisi tulevaisuudessa löytää keinoja, miten opettajat sitoutettaisiin vahvemmin osaksi kansallista LUMA-toimintaa. Yksi keino voisi olla Arjen tietoyhteiskunnan (2010) ehdottama kansallinen vuorovaikutteinen opetuksen tietopalvelu, joka olisi rekisteröitymistä vastaan ilmainen ja avoin kaikille opettajille. Oppimisympäristöpalvelun tulisi sisältää yhtä laadukasta materiaalia kuin kaupalliset ratkaisut. Palvelun käytettävyyden ja sen käyttämisestä saatavan hyödyn tulisi vakuuttaa opettaja jo ensimmäisellä käyttökerralla. Opettajilla tulisi myös olla mahdollisuus tuottaa palveluun omaa materiaalia, mikä sitouttaisi heitä palvelun käyttäjiksi. Tuotetun materiaalin laatu voitaisiin varmistaa yhteisillä laatukriteereillä ja vertaistestaamisella. Tämän tutkimuksen kaltaiset opettaja- ja opiskelijälähtöiset kehittämistutkimukset voisivat olla keino tuottaa palveluun sisältöä. Opettajayhteisö varmistaisi kehitettävien oppimisympäristöjen soveltuvuuden, ja ylläpitäjät pystyisivät suhteellisen pienellä työllä organisoimaan uutta sisältöä mielekkääseen muotoon. Se voisi tämän tutkimuksen mukaan olla verkkopohjainen käsitekartta (vrt. Pernaa & Aksela, 2008a-b). Näin tuotettaisiin myös opetushallituksen (2011) korostamia pedagogisia malleja sekä varmistettaisiin Valtioneuvoston kanslian (2007) asettama tavoite tieto- ja viestintäteknisestä tasa-arvoisuudesta.

Suoritetujen tutkimusten perusteella aihetta käsittelevät jatkotutkimukset tulee suunnata tukemaan käytännön ratkaisuja ja tähdätä oppimisympäristöjen laajempaan yleistettävyyteen. Tämä tarkoittaisi esimerkiksi Zhaon et al. (2002) määrittelemien diffuusioon vaikuttavien seikkojen huomioon ottamista tutkimusprojekteissa. Tämän tutkimuksen mukaan TVT-innovaatio siirtyy kehittäjien opetuskäytäntöihin kehittämisen yhteydessä, mutta jos TVT-oppimisympäristöille olisi määritelty yleiset standardit, voitaisiin tuottaa myös kansainvälistä kemian opetusta tukevia ratkaisuja. Kehittämistä ohjaavina teorioina ja kehitettävien laatustandardien perustana voitaisiin tämän tutkimuksen perusteella käyttää innovaation diffuusiota, mielekästä kemian oppimista ja tutkimusperustaista opetusta.

Tutkimuksen perusteella voidaan todeta kehittämistutkimuksen soveltuvan hyvin TVT-koulutuksen kehittämismenetelmäksi ja tutkimusperustaisen opetuksen työtavaksi. Sitä voidaan hyödyntää myös koko koululaitoksen kehittämiseen osana kansallisia kehittämisstrategioita (vrt. Arjen tietoyhteiskunta, 2010; Opetushallitus, 2011; Opetusministeriö, 2009; Valtioneuvoston kanslia, 2007). Kehittämistutkimuksesta saadaan opetusta tukevia käytännön ratkaisuja, joiden kehittämisessä pystytään useiden tahojen tarpeet ottamaan monipuolisesti huomioon. Esimerkkitutkimuksena koulutuksen kehittämisestä voidaan tulevaisuudessa käyttää tämän tutkimuksen tapausta II, jossa korkeakouluopetuksen kurssi uudistettiin siten, että otettiin huomioon kurssin historia, kansainvälinen ja kansallinen tutkimustieto sekä opiskelijoiden, koulujen ja koulutuksen järjestäjän (yliopisto) tarpeet nyt ja tulevaisuudessa.

Lähteet

- Aksela, M. (2005). *Supporting meaningful chemistry learning and higher-order thinking through computer-assisted inquiry: A Design research approach*. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino.
- Aksela, M. (2010). Evidence-based teacher education: Becoming a lifelong research-oriented chemistry teacher. *Chemistry Education Research and Practice*, 11, 84-91.
- Aksela, M. & Juvonen, R. (1999). *Kemian opetus tänään*. Helsinki: Opetushallitus, Edita Oy.
- Aksela, M. & Karjalainen, V. (2008). *Kemian opetus tänään: Nykytila ja haasteet Suomessa*. Helsinki: Kemian opetuksen keskus, Kemian laitos, Helsingin yliopisto, Yliopistopaino.
- Aksela, M. & Lahtela-Kakkonen, M. (2001). Molekyyli-tason teknologiaa opetuksessa. *Kemia-Kemi*, 28(3), 200-203.
- Aksela, M. & Lundell, J. (2007). Kemian opettajien kokemuksia tietokoneavusteisesta molekyylimallinnuksesta. Kirjassa M. Aksela & M. Montonen (toim.), *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluun* (s. 226-247). Helsinki: Yliopistopaino.
- Aksela, M. & Lundell, J. (2008). Computer-based molecular modelling: Finnish school teachers experiences and views. *Chemistry Education Research and Practice*, 9, 301-308.
- Aksela, M. Lundell, J. & Pernaa, J. (2008). Molekyylimallinnuksen mentoreita kemian opetuksen ja oppimisen tueksi. Kirjassa J. Välisaari & J. Lundell (toim.), *Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä opetusta* (s. 59-68). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- Aksela, M. & Pernaa, J. (2009). Kemianluokka Gadolin -opettajien kokemuksia uuden oppimisympäristön käytöstä. Kirjassa M. Aksela & J. Pernaa (toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluun - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 40-49). Helsinki: Yliopistopaino.
- Anderson, L. W. (toim.), Krathwohl, D. R. (toim.), Airasian, P. W., Cruikshank, K. A., Mayer, R. E., Pintrich, P. R., Raths, J. & Wittrock, M. C. (2001). *A Taxonomy for learning, teaching, and assessing: A Revision of Bloom's Taxonomy of Educational Objectives* (Complete edition). New York: Longman.
- Arajärvi, K. & Aksela, M. (2009). Kokeellisuus ja kiinnostus kemian opetuksessa. Kirjassa M. Aksela, & J. Pernaa (toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluun - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 172-180). Helsinki: Yliopistopaino.
- Arjen tietoyhteiskunta. (2010). Kansallinen tieto- ja viestintätekniikan opetuskäytön suunnitelma. www.arjentietoyhteiskunta.fi, luettu 3.6.2011.
- Ausubel, D. P. (1968). *Educational psychology: A Cognitive view*. New York, Holt: Reinehart & Winston.
- Barab, S. & Squire, K. (2004). Design-based research: Putting a stake in the ground. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 1-14.
- Bell, P., Hoadley, C. M. & Linn, M. C. (2004). Design-based research in education. Kirjassa

- M. C. Linn, E. A. Davis & P. Bell (toim.), *Internet environments for science education* (s. 73-85). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Bennet, J. & Holman, J. (2002). Context-based approaches to the teaching of chemistry: What are they and what are their effects? Kirjassa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust & J. van Driel (toim.), *Chemical Education: Towards Research-based Practice* (s. 165-184). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Blender. (2010). Blender 3D. www.blender.org, luettu 8.3.2011.
- Bloom, B. S. (toim.), Engelhart, M. D., Furst, E. J., Hill, W. H. & Krathwohl, D. R. (1956). *Taxonomy of educational objectives: The Classification of educational goals. Handbook 1: Cognitive domain*. New York: David McKay.
- Brown, A. L. (1992). Design experiments: Theoretical and methodological challenges in creating complex interventions in classroom settings. *The Journal of the Learning Sciences*, 2(2), 141-178.
- Burke, K. A., Greenbow, T. J. & Windschitl, A. (1998). Developing and using conceptual computer animations for chemistry instruction. *Journal of Chemical Education*, 75 (12), 1658-1661.
- Cañas, A. J., Carff, R., Hill, G., Carvalho, M., Arguedas, M., Eskridge, T. C., Lott, J. & Carvajal, R. (2005). Concept maps: Integrating knowledge and information visualization. Kirjassa S-O. Tergan & T. Keller (toim.), *Knowledge and information visualization: Searching for synergies - Lecture notes in computer science* (s. 205-219). Heidelberg/NY: Springer.
- Cardellini, L. (2004). Conceiving of concept maps to foster meaningful learning: An Interview with Joseph D. Novak. *Journal of Chemical Education*, 81(9), 1303-1307.
- Carnot, M. J., Dunn, B., Cañas, A. J., Graham, P. & Muldoon, J. (2001). Concept maps vs. web pages for information searching and browsing. Manuscript in preparation. Institute for Human and Machine Cognition.
<http://www.ihmc.us/users/acanas/Publications/CMapsVSWebPagesExp1/CMapsVSWebPagesExp1.htm>, luettu 14.10.2008.
- Chao, I. T., Saj, T. & Hamilton, D. (2010). Using collaborative course development to achieve online course quality standards. *International Review of Research in Open and Distance Learning*, 11(3), 106-126.
- ChemSense. (2011). ChemSense - Visualizing chemistry. <http://www.chemsense.org/>, luettu 8.3.2011.
- Clark, D. (2004). Hands-on investigations in Internet environments: Teaching thermal equilibrium. Kirjassa M. C. Linn, E. A. Davis & P. Bell (toim.), *Internet environments for science education* (s. 175-200). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cobb, P. (2001). Supporting the improvement of learning and teaching in social and institutional context. Kirjassa S. M. Carver & D. Klahr (toim.), *Cognition and instruction: Twenty-five years of progress* (s. 455-478). Mahwah, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates.
- Cobb, P., Confrey, J., diSessa, A., Lehrer, R. & Schauble, L. (2003). Design experiments in educational research. *Educational Researcher*, 32(1), 9-13.
- Coenders, F., Terlouw, C., Dijkstra, S. & Pieters, J. (2008). The Effects of the design and development of a chemistry curriculum reform on teachers' professional growth: A

- Case study. *Journal of Science Teacher Education*, 21(5), 535-557.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. New York: Routledge.
- Coleman, C., King, F., Ruth, M. H. & Stry, E. (2001). *Developing higher-order thinking skills through the use of technology*. ERIC Document Reproduction Service No. ED459702.
- Collins, A. (1992). Towards a design science education. Kirjassa E. Scanlon & T. O'Shea (toim.), *New directions in educational technology* (s. 15-22). Berliini: Springer.
- Collins, A. (1999). The changing infrastructure of education research. Kirjassa E. C. Lagemann & L. S. Shulman (toim.), *Issues in education research: Problems and possibilities* (s. 289-298). San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Collins, A., Joseph, D. & Bielaczyc, K. (2004). Design research: Theoretical and methodological issues. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 15-42.
- Dede, C. (2004). If design-based research is the answer, what is the question? A Commentary on Collins, Joseph, and Soloway in the JLS special issue on design-based research. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 105-114.
- Demircioğlu, H., Demircioğlu, G. & Calik, M. (2009). Investigating the effectiveness of storylines embedded within a context-based approach: The Case for the periodic table. *Chemistry Education Research and Practice*, 10(3), 241-249.
- Denning P. J. (2004). The Social life of innovation. *Communications of the ACM*, 47, 15-19.
- Design-Based Research Collective. (2003). Design-based research: An Emerging paradigm for educational inquiry. *Educational Researcher*, 32(1), 5-8.
- diSessa, A. A. & Cobb, P. (2004). Ontological innovation and the role of theory in design experiments. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 77-103.
- Donnelly, D., McGarr, O. & O'Reilly, J. (2011). A framework for teachers' integration of ICT into their classroom practice. *Computers & Education*, 57(2), 1469-1483.
- Edelson, D. C. (2002). Design research: What we learn when we engage in design. *The Journal of the Learning Sciences*, 11, 105-121.
- Elliott, M. J., Stewart, K. K. & Lagowski, J. J. (2008). The role of the laboratory in chemistry instructions. *Journal of Chemical Education*, 85(1), 145-149.
- Ellis, R. & Gabriel, T. (2010). Context-Based learning for beginners: CBL and non-traditional students. *Research in Post-Compulsory Education*, 15(2), 29-140.
- Erduran, S. (2001). Philosophy of chemistry: An Emerging field with implications for chemistry education. *Science & Education*, 10, 581-593.
- Erduran, S. & Scerri, E. (2002). The nature of chemical knowledge and chemical education. Kirjassa J. K. Gilbert, R. Justi, D. Treagust, O. de Jong & J. van Driel (toim.), *Chemical education: Towards research-based practice* (s. 7-27). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- ERIC: Education Resources Information Center. (2009). <http://www.eric.ed.gov/>, luettu 31.08.2009.
- Euroopan komissio. (2007). The life-long learning program 2007-2013. http://ec.europa.eu/education/lifelong-learning-programme/doc78_en.htm, luettu 14.1.2010.
- Flemming, S., Hart, G. & Savage, P. (2000). Molecular orbital animations for organic

- chemistry. *Journal of Chemical Education*, 77(6), 790-793.
- Fishman, B., Marx, R. W., Blumenfeld, P., Krajcik, J. & Soloway, E. (2004). Creating a framework for research on systemic technolo, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of middle and high school students and Experts. *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), 799-822.
- Francisco, J. S., Nakhleh, M. B., Nurrenbern, S. C., & Miller, M. L. (2002). Assessing student understanding of general chemistry with concept Mapping. *Journal of Chemical Education*, 79(2), 248-257.
- Gabel, D. (1999). Improving teaching and learning through chemistry education research: A Look to the future. *Journal of Chemical Education*, 76(4), 548-554.
- Gahr, A. A. (2003). Cooperative chemistry: Concept mapping in the organic chemistry Lab. *Journal of College Science Teaching*, 32(5), 311-315.
- Gilbert, J. K. (2006). On the nature of "context" in chemical education. *International Journal of Science Education*, 28(9), 957-976.
- Gilbert, J. K., Boulter, C. J. & Elmer, R. (2000). Positioning models in science education and in design and technology education. Kirjassa J. K. Gilbert & C. J. Boulter (toim.), *Developing models in science education* (s. 3-18). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Gilbert, J. K., de Jong, O., Justi, R., Treagust, D. & Van Driel, J. (2002). Research and development for the future of chemical education. Kirjassa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust & J. van Driel (toim.), *Chemical education: Towards research-based practice* (s. 391-408). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Griffiths, R. (2004). Knowledge production and the research-teaching nexus: The Case of the built environment disciplines. *Studies in Higher Education*, 29(6), 709-726.
- Grosslight, L., Unger, C., Jay, E., & Smith, C. L. (1991). Understanding models and their use in science: Conceptions of Middle and High School Students and Experts. *Journal of Research in Science teaching*, 28(9), 799-822.
- Hall, G. & Hord, S. (1987). *Change in schools: Facilitating the process*. Albany, NY: State University of New York Press.
- Healey, M. (2005). Linking research and teaching: Disciplinary spaces. Kirjassa R. Barnett (toim.), *Reshaping the university: New relationships between research, scholarship and teaching* (s. 30-42). Maidenhead: McGraw-Hill/Open University Press.
- Hoadley, C. M. (2004). Methodological alignment in design-based research. *The Journal of the Learning Sciences*, 39(4), 203-212.
- Hodson, D. (1996). Laboratory work as scientific method: Three decades of confusion and distortion. *Journal of Curriculum Studies*, 28(2), 115-135.
- Hofstein, A., & Lunetta, V. N. (2004). The Laboratory in science education: Foundations for the twenty-first century. *Science Education*, 88(1), 28-54.
- IHMC. (2011). CmapTools - Knowledge modeling kit. <http://cmap.ihmc.us/>, luettu 9.3.2011.
- Jakku-Sihvonen, R. & Niemi, H. (2005). Thirty years research-based teacher education - A Finnish case. Tiivistelmä symposiumkirjassa *NERA congress: A nordic dimension in education and research - myth or reality?: Abstracts*, Nordic Educational Research Association, 33rd Congress, March 10-12, 2005. Oslo: University of Oslo, NERA 2005, 141. <http://neraoslo2005.uio.no/Abstracts1.pdf>, luettu 08.02.2011.
- Jakku-Sihvonen, R. & Niemi, H. (toim.) (2006). *Research-based teacher education in*

- Finland - Reflections by Finnish teacher educators*. Finnish Educational Research Association, Research in Educational Sciences 25.
- Jalonen, E., Lundell, J. & Aksela, M. (2007). Molekyyylimallinnus lukion kemian opetuksessa. Kirjassa M. Aksela & M. Montonen (toim.), *Uusia lähestymistapoja kemian opetukseen perusopetuksesta korkeakouluhiin* (s. 148-154). Helsinki: Yliopistopaino.
- JCE: Journal of Chemical Education. (2009). <http://jchemed.chem.wisc.edu/>, luettu 31.08.2009.
- Jenkins A. & Healey M. (2005). Institutional strategies to link teaching and research, York: Higher Education Academy, http://www.heacademy.ac.uk/assets/York/documents/resources/resourced_atabase/id585_institutional_strategies_to_link_teaching_and_research.pdf, luettu 10.2.2011.
- Jmol. (2011). Jmol: an open-source Java viewer for chemical structures in 3D. <http://www.jmol.org/>, luettu 8.3.2011.
- Johnson, R. B. & Onwuegbuzie, A. J. (2004). Mixed method research: A Research paradigm whose time has come. *Educational Researcher*, 33(7), 14-26.
- Johnstone, A. H. (1993). The Development of chemistry teaching: A Changing response to changing demand. *Journal of Chemical Education*, 70(9), 701-705.
- Jonassen, D. H. (1999). Designing constructivist learning environments. Kirjassa C. Reigeluth (toim.), *Instructional design theories and models: A new paradigm of instructional theory, volume II* (s. 215-239). Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Joseph, D. (2004). The Practice of design-based research: Uncovering the interplay between design, research, and the real-world context. *Educational Psychologist*, 39(4), 235-242.
- Joutsenvirta, T. & Vehkalahti, K. (2005). Opiskelijoiden näkemyksiä sulautuvasta opetuksesta. *Piirtoheitin*, 3(2), <http://www.valt.helsinki.fi/piirtoheitin/sulautus2.htm>, luettu 12.9.2010.
- Justi, R. & Gilbert, J. (2002). Models and modelling in chemical education. Kirjassa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. van Driel (toim.), *Chemical education: Towards research-based practice* (s. 47-68). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Juuti, K. (2005). *Towards primary school physics teaching and learning : Design research approach*. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino.
- Juuti, K. & Lavonen, J. (2006). Design-based research in science education: One step towards methodology. *NorDiNa*, 4, 54-68.
- Juuti, K., Lavonen, J., Aksela, M. & Meisalo, V. (2009). Adoption of ICT in science education: A Case study of communication channels in a teachers' professional development project. *Eurasia Journal of Mathematics, Science & Technology Education*, 5(2), 103-118.
- Jääskeläinen, P. (2008). Kiinnostuksen tukeminen perusopetuksessa: molekyyylimallinnus työtapana. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/jaaskelainen-p-2008.pdf>, luettu 18.10.2011.
- Kalliala, E. (2002). *Verkko-opettamisen käsikirja*. Jyväskylä: Gummerus.
- Kankaanranta, M., Vahtivuori-Hänninen, S. & Koskinen, J. (2011). Opetusteknologia koulun arjessa - ensituloksia. Kirjassa M. Kankaanranta (toim.), *Opetusteknologia koulun*

- arjessa (s. 7-13). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto Koulutuksen tutkimuslaitos.
- Kaya, O. N. (2008). A Student-centred approach: Assessing the changes in prospective science teachers' conceptual understanding by concept mapping in a general chemistry laboratory. *Research in Science Education*, 38(1), 91-110.
- Kelly, A. E. (2004). Design research in education: Yes, but is it methodological. *The Journal of the Learning Sciences*, 13(1), 115-128.
- Kemian laitos. (2006). Tutkimuksen tavoiteohjelma 2007-2009. Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
http://www.helsinki.fi/kemia/hallinto/strategiat/tutkimuksen_tavoiteohjelma_2007-2009.pdf, luettu 8.2.2011.
- Kiliç, Z., Kaya, O. N. & Doğan, A. (2004). Effects of students' pre- and post-laboratory concept maps on students' attitudes toward chemistry laboratory in university general chemistry, Online Submission, Poster esitetty kansainvälisessä kemian opetuksen konferenssissa (18th, Istanbul, Turkki, 2004).
- King, D., Bellocchi, A. & Ritchie, S. M. (2008). Making connections: Learning and teaching chemistry in context. *Research in Science Education*, 38(3), 365-384.
- Konschin, H. (2005). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 7: Kvantkemi i skolan, möjligt eller omöjligt? *Dimensio*, 69(1), 50-54.
- Kozma, R. (2003). Material and social affordances of multiple representations for science understanding. *Learning and Instruction*, 13(2), 205-226.
- Kozma, R. & Russell, J. (2005). Students becoming chemists: Developing representational competence. Kirjassa J. K. Gilbert (toim.), *Visualization in Science Education* (s. 121-146). Dordrecht: Springer.
- Kurtén-Finnäs, B. (2008). *Det var intressant, man måste tänka så mycket. Öppna laboratorier och V-diagram i kemiundervisningen*. Väitöskirja, Åbo Akademi, Pedagogiska fakulteten.
- Laroche, L. H., Wulfsberg, G. & Young, B. (2003). Discovery videos: A Safe, tested, time-efficient way to incorporate discovery-laboratory experiments into the classroom. *Journal of Chemical Education*, 80(8), 962-966.
- Lazarowitz, R., & Tamir, P. (1994). Research on using laboratory instruction in science. Kirjassa D. L. Gabel (toim.), *The Handbook of Research on Science Teaching and Learning* (s. 94-128). New York: Macmillan.
- Lincoln, Y. S. & Guba, E. G. (1985). *Naturalistic inquiry*. Beverly Hills, CA: Sage Publications Inc.
- Linn, M. C. (1996). From separation to partnership in science education: Students, laboratories, and the curriculum. Kirjassa R. F. Tinker (toim.), *Microcomputer-based Labs: Educational research and standards* (s. 13-45). Berliini: Springer.
- Lundell, J. & Aksela, M. (2003). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 1: Molekyylimallinnus ja kemian opetus. *Dimensio*, 67(5), 47-49.
- Lundell, J. & Aksela, M. (2004a). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 2: Molekyylimallinnus ja energia. *Dimensio*, 68(1), 53-54.
- Lundell, J. & Aksela, M. (2004b). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 3: Molekyylien rakenne ja sen visualisointi. *Dimensio*, 68(2), 40-42.
- Lundell, J. & Aksela, M. (2004c). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 4: Orbitaalien havainnollistaminen lukion kemian opetuksessa. *Dimensio*, 68(3), 40-43.

- Lundell, J. & Aksela, M. (2004d). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 5: Kemiaallisen sidoksen tietokoneavusteinen mallintaminen. *Dimensio*, 68(4), 26-29.
- Lundell, J. & Aksela, M. (2004e). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 6: Tutkimuskohteena molekyyliden värähdykset. *Dimensio*, 68(5), 54-56.
- Lundell, J. & Aksela, M. (2005). Molekyylimallinnus kemian opetuksessa osa 8: Kemiaallisen reaktion mallinnus. *Dimensio*, 69(2), 33-36.
- Manninen, J. & Pesonen, S. (1997). Uudet oppimisympäristöt. *Aikuiskasvatus* 4(97), 267-274.
- Maor, D. (2000). A Teacher professional development program on using a constructivist multimedia learning environment. *Learning Environments Research*, 2, 307-330.
- Markow, P. G. & Lonning, R. A. (1998). Usefulness of concept maps in college chemistry laboratories: Students' perceptions and effects on achievement. *Journal of Research in Science Teaching*, 35(9), 1015-1029.
- Matemaattis-luonnontieteellinen tiedekunta. (2010). Tavoiteohjelma 2010-2012. https://alma.helsinki.fi/download/2000000124209/tavoiteohjelma_2010-2012.pdf, luettu 8.2.2011.
- Meisalo, V., Sutinen, E. & Tarhio, J. (2000). *Modernit oppimisympäristöt*. Juva: WS Bookwell Oy.
- Millar, R. (2004). The Role of practical work in the teaching and learning of science. Artikkelin kirjoitettu tapaamiseen: High School Science Laboratories: Role and Vision. Washington: National Academy of Sciences, 1-22.
- Monteyne, K. & Cracolice, M. S. (2004). What's wrong with cookbooks? A Reply to Ault. *Journal of Chemical Education*, 80(11), 1559-1560.
- Multisilta, J. (1997). Miltä näyttää WWW-maailma oppimisympäristönä. Kirjassa E. Lehtinen (toim.), *Verkkopedagogiikka* (s. 101-111). Helsinki: Edita.
- Muurinen, M. & Skarp, N. (2004). Oivaltamisen iloa laskennallisesta kemiasta. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/muurinen-m-skarp-n-2004.pdf>, luettu 18.10.2011.
- Nakhleh, M. B., Polles, J. & Malina, E. (2002). Learning chemistry in a laboratory environment. Kirjassa J. K. Gilbert, O. de Jong, R. Justi, D. Treagust, & J. van Driel (toim.), *Chemical education: Towards research-based practice* (s. 69-94). Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Neumann, R. (1994). The Teaching-research nexus: Applying a framework to university students' learning experiences. *European Journal of Education*, 29(3), 323-339.
- Nicoll, G., Francisco, J. S. & Nakhleh, M. (2001). An Investigation of the value of using concept maps in general chemistry. *Journal of Chemical Education*, 78(8), 1111-1117.
- Niemi, H. & Jakku-Sihvonen, R. (2009). El currículo en la formación del profesorado de Educación Secundaria : Curriculum of secondary school teachers training. *Revista de Educacion*, 350, 173-202.
- Novak, J. D. (1998). *Tiedon oppiminen, luominen ja käyttö: Käsitekartat työvälineinä oppilaitoksissa ja yrityksissä*. (Suom. M. Åhlberg). Jyväskylä: PS-kustannus.
- Novak, J. D. & Canas, A. J. (2006). The Theory underlying concept maps and how to construct and use them. Technical Report IHMC CmapTools 2006-01.

- <http://cmap.ihmc.us/publications/researchpapers/theorycmaps/theoryunderlyingconceptmaps.htm>, luettu 6.4.2011.
- O'Donnell, A. M. (2004). A Commentary on design research. *Educational Psychologist* (39)4, 255-260.
- Opetushallitus. (2003). *Lukion opetussuunnitelman perusteet 2003*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Opetushallitus. (2004). *Perusopetuksen opetussuunnitelman perusteet 2004*. Vammala: Vammalan Kirjapaino Oy.
- Opetushallitus. (2011). Tieto- ja viestintäteknikka opetuskäytössä - Välineet, vaikuttavuus ja hyödyt (Tilannekatsaus toukokuu 2011). Muistiot 2011:2.
http://www.oph.fi/julkaisut/2011/tieto_ja_viestintateknikka_opetuskaytossa, luettu 27.5.2011.
- Opetusministeriö. (2009). Opetusministeriön strategia 2020. Opetusministeriön julkaisuja 2009:47.
http://www.minedu.fi/OPM/Julkaisut/2009/opetusministerion_strategia_2020.html, luettu 14.1.2010.
- Pendley, B. D., Bretz, R. L. & Novak, J. D. (1994). Concept maps as a tool to assess learning in chemistry. *Journal of Chemical Education*, 71(1), 9-15.
- Pernaa, J. (2008). Hyönteisten kemiaa lukion kemian opetuksessa. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/pernaa-j-2008.pdf>, luettu 18.10.2011.
- Pernaa, J. (2010). Tieto- ja viestintäteknikkaan pohjautuvat oppimisympäristöt ja koulutus kemian oppimisen ja opetuksen tukena. Lisensiaattitutkielma, Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/Tutkimus/lisensiaattityot/pernaa_lisensiaattityo.pdf, luettu 18.10.2011.
- Pernaa, J. & Aksela, M. (2008a). Verkko kemian oppimisympäristönä: Esimerkkinä hyönteisten kemia. Kirjassa J. Väliisaari & J. Lundell (toim.), *Kemian opetuksen päivät 2008: Uusia oppimisympäristöjä ja ongelmalähtöistä opetusta* (s. 35-44). Jyväskylä: Jyväskylän yliopisto.
- Pernaa, J. & Aksela, M. (2008b). Concept maps as meaningful learning tools in a web-based chemistry material. Kirjassa A. J. Canas, J. D. Novak, P. Reiska & M. K. Åhlberg (toim.), *Concept mapping : Connecting educators : Proceedings of the 3rd International conference on concept mapping : vol. 1 Full papers, part one* (s. 282-289). Viro: IHMC, Tallinnan yliopisto, Helsingin yliopisto, OU Vali Press.
- Pernaa, J. & Aksela, M. (2009). Chemistry teachers' and students' perceptions of practical work through different ICT learning environments. *Problems of Education in the 21st Century*, 16, 80-88.
- Pernaa, J. & Aksela, M. (2010). Future chemistry teachers use of knowledge dimensions and high-order cognitive skills in pre-laboratory concept maps. Kirjassa J. Sanchez, A. J. Canas & J. D. Novak (toim.), *Concept maps: Making learning meaningful : Proceedings of the fourth international conference on concept mapping* (s. 132-135). Santiago de Chile.
- Pernaa, J. & Aksela, M. (2011). Learning Organic Chemistry Through a Study of Semiochemicals. Hyväksytty *Journal of Chemical Education* -lehteen. (DOI:

- Pernaa, J., Aksela, M. & Lundell, J. (2009). Kemian opettajien käsityksiä molekyylimallinnuksen käytöstä opetuksessa. Kirjassa M. Aksela & J. Pernaa (toim.), *Arkipäivän kemia, kokeellisuus ja työturvallisuus kemian opetuksessa perusopetuksesta korkeakouluihin - IV Valtakunnalliset kemian opetuksen päivät* (s. 195-204). Helsinki: Yliopistopaino.
- Pernaa, J., Aksela, M. & Västinsalo, J. (2010). Kemian mallit ja visualisointi -kurssin yhteisöllinen uudistaminen malliteoriaan pohjautuvalla kehittämistutkimuksella. Kirjassa M. Aksela, J. Pernaa & M. Rukajärvi-Saarela (toim.), *Tutkiva lähestymistapa kemian opetukseen: V valtakunnalliset kemian opetuksen päivät -symposiumkirja* (s. 96-114). Helsinki: Yliopistopaino.
- Rapp, D. N. (2005). Mental models: Theoretical issues for visualization. Kirjassa J. K. Gilbert (toim.), *Visualization in science education* (s. 43-60). Dordrecht: Springer.
- Regis, A., Albertazzi, P. G. & Roletto, E. (1996). Concept maps in chemistry education. *Journal of Chemical Education*, 73, 1084-1088.
- Rogers, E. M. (1962). *Diffusion of Innovations*, 1st edition. New York: Free Press.
- Rogers, E. M. (1995). *Diffusion of Innovations*, 4th edition. New York: Free Press.
- Russell, J. & Kozma, R. (2005). Assessing learning from the use of multimedia chemical visualization software. Kirjassa J. K. Gilbert (toim.), *Visualization in science education* (s. 299-332). Dordrecht: Springer.
- Russell, J. W., Kozma, R. B., Jones, T., Wykoff, J., Marx, N. & Davis, J. (1997). Use of simultaneous-synchronized macroscopic, microscopic, and symbolic representations to enhance the teaching and learning of chemical concepts. *Journal of Chemical Education*, 74(3), 330-334.
- Saloma, A. (2005). Vetysidoksen opetus ja oppiminen. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
<http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/saloma-a-2005.pdf>, luettu 18.10.2011.
- Sandoval, W. A. & Bell, P. (2004). Design-based research methods for studying learning in context: Introduction. *The Journal of the Learning Sciences*, 39(4), 199-201.
- Schank, P. & Kozma, R. (2002). Learning chemistry through the use of a representation-based knowledge building environment. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, 21(3), 253-279.
- Sarja A (1). Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P., Pihko, P. & Salo, K. (2005). *Lukion kemia - REAKTIO 1, Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Tammi.
- Sarja A (2). Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2006). *Lukion kemia - REAKTIO 2, Kemian mikromaailma*. Helsinki: Tammi.
- Sarja A (3). Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2006). *Lukion kemia - REAKTIO 3, Reaktiot ja energia*. Helsinki: Tammi.
- Sarja A (4). Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. (2006). *Lukion kemia - REAKTIO 4, Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Tammi.
- Sarja A (5). Kaila, L., Meriläinen, P., Ojala, P. & Pihko, P. 2007. *Lukion kemia - REAKTIO 5, Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Tammi.
- Sarja B (1). Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. & Mäkelä, R. (2004). *Kemisti 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: WSOY.

- Sarja B (2). Lampiselkä, J., Sorjonen, T., Vakkilainen, K-M., Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L. & Mäkelä, R. (2005). *Kemisti 2 - Kemian mikromaailma*. Helsinki: WSOY.
- Sarja B (3). Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K-M. (2005). *Kemisti 3 - Reaktiot ja energia*. Helsinki: WSOY.
- Sarja B (4). Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K-M. (2006). *Kemisti 4 - Metallit ja materiaalit*. Helsinki: WSOY.
- Sarja B (5). Aroluoma, I., Kanerva, K., Karkela, L., Lampiselkä, J., Mäkelä, R., Sorjonen, T. & Vakkilainen, K-M. (2007). *Kemisti 5 - Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: WSOY.
- Sarja C (1). Kalkku, I., Kalmi, H. & Korvenranta, J. (2004). *KIDE 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia, KE1*. Helsinki: Otava.
- Sarja C (2). Kalkku, I., Kalmi, H. & Korvenranta, J. (2004). *KIDE 2 - Kemian mikromaailma, KE2*. Helsinki: Otava.
- Sarja C (3). Kalkku, I., Kalmi, H. & Korvenranta, J. (2005). *KIDE 3 - Reaktiot ja energia, KE3*. Helsinki: Otava.
- Sarja D (1). Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2004). *Neon 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Edita.
- Sarja D (2). Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2005). *Neon 2 - Kemian mikromaailma*. Helsinki: Edita.
- Sarja D (3). Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2006). *Neon 3 - Reaktiot ja energia*. Helsinki: Edita.
- Sarja D (4). Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2006). *Neon 4 - Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Edita.
- Sarja D (5). Hannola-Teitto, M., Jokela, R., Leskelä, M., Näsäkkälä, E., Pohjakallio, M. & Rassi, M. (2006). *Neon 5 - Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Edita.
- Sarja E (1). Lehtiniemi, K ja Turpeenoja, L. (2005). *MOOLI 1 - Ihmisen ja elinympäristön kemia*. Helsinki: Otava.
- Sarja E (2). Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2005). *MOOLI 2 - Kemian mikromaailma*. Helsinki: Otava.
- Sarja E (3). Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2005). *MOOLI 3 - Reaktiot ja energia*. Helsinki: Otava.
- Sarja E (4). Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2006). *MOOLI 4 - Metallit ja materiaalit*. Helsinki: Otava.
- Sarja E (5). Lehtiniemi, K. & Turpeenoja, L. (2007). *MOOLI 5 - Reaktiot ja tasapaino*. Helsinki: Otava.
- Sarja F (1). Zumdahl, S. & Zumdahl, A. (2000). *Chemistry*. Boston: Houghton Mifflin Company.
- Sarja F (2). Antila, A-M., Karppinen, M., Leskelä, M., Mölsä, H. & Pohjakallio, M. (2003). *Tekniikan kemia*. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Sarja F (3). Streitwieser, A., Heathcock, C. H. & Kosower, E. (1998). *Introduction to Organic Chemistry, 4. p.* New Jersey: Prentice Hall.
- Slota, J. D. (2004). The Web-based inquiry science environment (WISE): Scaffolding knowledge integration in the science classroom. Kirjassa M. C. Linn, E. A. Davis & P. Bell (toim.), *Internet environments for science education* (s. 203-231). Mahwah,

- New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates. gy innovations.
- Sim, J. & Wright, C. (2005). The Kappa statistic in reliability studies: Use, interpretation, and sample size requirements. *Physical Therapy*, 85(3), 257-268.
- Stensvold, M. & Wilson, J. T. (1992). Using concept maps as a tool to apply chemistry concepts to laboratory activities. *Journal of Chemical Education*, 69(3), 230-232.
- Tasker, R. & Dalton, R. (2006). Research into practice: Visualization of the molecular world using animations. *Chemistry Education Research and Practice*, 7(2), 141-159.
- Tekes. (2011). Oppimisratkaisut 2011-2015. <http://www.tekes.fi/ohjelmat/Oppimisratkaisut>, luettu 27.5.2011.
- Tikkanen, G. (2010). *Kemian ylioppilaskokeen tehtävät summatiivisen arvioinnin välineenä*. Väitöskirja, Helsingin yliopisto. Helsinki: Yliopistopaino.
- Tuomi, J. & Sarajärvi, A. (2009). *Laadullinen tutkimus ja sisällönanalyysi*. Jyväskylä: Tammi.
- Tversky, B. (2005). Prolegomenon to scientific visualizations. Kirjassa J. K. Gilbert (toim.), *Visualization in Science Education* (s. 29-42). Dordrecht: Springer.
- Uusikartano, H. (2006). Biomolekyylin visualisointi kemian opetuksessa. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/uusikartano-h-2006.pdf>, luettu 18.10.2011.
- Vainio, J. (2005). Tietokoneavusteinen molekyylimallinnus energian opettamisen apuvälineenä. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto.
- Valtioneuvoston kanslia. (2007). Tietoyhteiskuntakehityksen yhteisten menettelytapojen ja koordinoinnin kehittäminen opetustoimessa. Työryhmän loppuraportti. <http://www.vnk.fi/julkaisukansio/2007/j09-opetus-time/pdf/fi.pdf>, luettu 14.1. 2010.
- Vehkalahti, K. (2004). BSCW menetelmäkurssin oppimisympäristönä. *Piirtoheitin*, 1(1), <http://www.valt.helsinki.fi/piirtoheitin/bscw1.htm>, luettu 17.9.2010.
- Velázquez-Marcano, A., Williamson, V. M., Ashkenazi, G., Tasker, R. & Williamson, K. C. (2004). The Use of video demonstrations and particulate animation in general chemistry. *Journal of Science Education and Technology*, 13(3), 315-323.
- Vermaat, J. H., Kramers-Pals, H. & Schank, P. (2003). The Use of animations in chemical education. Artikkelit esitetty kansainvälisessä tapaamisessa, järjestävänä tahona The Association for Educational Communications and Technology, Anaheim, CA, USA, October 22-26, 2003.
- Vesterinen, V-M. & Aksela, M. (2009). A Novel course of chemistry as a scientific discipline: How do prospective teachers perceive nature of chemistry through visits to research groups? *Chemical Education Research and Practice*, 10, 132-141.
- Vesterinen, V-M., Pernaa, J. & Aksela, M. (2011). Evaluation of a Novel Educational Design Methodology Utilizing Concept Maps. Hyväksytty *Esera 2011 -konferenssin symposiumkirjaan*.
- Västinsalo, J. (2009). Ilman kaasujen molekyylimallinnus 7. -9.-luokkalaisten kiinnostuksen tukena. Pro gradu -tutkielma. Kemian opettajankoulutusyksikkö, Kemian laitos, Helsingin yliopisto. <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/ont/vastinsalo-j-2009b.pdf>, luettu 18.10.2011.
- Wavefunction. (2010). Spartan molecular modeling software. <http://www.wavefun.com/>, 8.3.2011.

- Wang, F. & Hannafin, M. J. (2004). Using design-based research in design and research of technology-enhanced learning environments. Artikkelit esitetyt konferenssissa Annual Meeting of the American Educational Research Association, San Diego, CA.
- Webb, M. E. (2005). Affordances of ICT in science learning: Implications for an integrated pedagogy. *International Journal of Science Education*, 27(6), 705-735.
- Williamson, V. & Abraham, M. (1995). The effects of computer animation on the particulate mental models of college chemistry students. *Journal of Research in Science Teaching*, 32(5), 521-534.
- Yang, E. Greenbowe, T. & Andre, T. (2004). The Effective use of an interactive software program to reduce students' misconceptions about batteries. *Journal of Chemical Education*, 81(4), 587-595.
- Yu, C. H., Jannasch-Pennell, A., DiGangi, S. A. & Wijesuriya, R. (2002). Collaborative design and implementation of a large university's web-based course. *Annual Proceedings of Selected Research and Development Papers Presented at the National Convention of the Association for Educational Communications and Technology (23rd, Denver, CO, October 25-28, 2000). Volumes 1-2.*
- Zamorski, B. (2002). Research-led teaching and learning in higher education: A Case. *Teaching in Higher Education*, 7(4), 411-427.
- Zhao, Y., Pugh, K., Sheldon, S. & Byers, J. (2002). Conditions for classroom technology innovations. *Teachers College Record*, 104(3), 482-515.
- Ziegenfuss, D. H. & Lawler, P. A. (2008). Collaborative course design: Changing the process, acknowledging the context, and implications for academic development. *International Journal for Academic Development*, 13(3), 151-160.
- Åhlberg, M. (2002). Suomentajan jälkisanat: Eheyttävän kasvatuksen teorian, käsitekarttojen ja Vee-heuristiikan käytöstä sekä tutkimus- ja kehittämistyöstä Suomessa. Kirjassa Novak, J. (1998) (Suom. M. Åhlberg), *Tiedon oppiminen, luominen ja käyttö: Käsitekartat työvälineinä oppilaitoksissa ja yrityksissä* (s. 300 - 315). Jyväskylä: PS-kustannus.
- Özmen, H., Demircioğlu, G. & Coll, R. K. (2009). A Comparative study of the effects of a concept mapping enhanced laboratory experience on Turkish high school students' understanding of acid-base chemistry. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 7(1), 1-24.

Liitteet

Liitteet ovat ladattavissa osoitteesta: <http://www.helsinki.fi/kemia/opettaja/pernaa/>